

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
JARABE DE AZÚCAR COMO INGREDIENTE EN LA ELABORACIÓN DE
REFRESCOS A PARTIR DE AZÚCAR DE CAÑA DE BAJA CALIDAD**

**Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Química para optar al grado y título
de Maestría Profesional en Ingeniería Química con énfasis en Procesos Industriales**

BEATRIZ BALDARES PHILLIPS

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2020

“El Señor es mi poderoso protector; en él confié plenamente, y él me ayudó. Mi corazón está alegre; cantaré y daré gracias al Señor”

Salmo 28:7

DEDICATORIA

*A Dios, mi guía y fortaleza a lo largo de mi vida.
A Ariana, mi Titi, la luz de mi vida, mi motor, mi amor eterno.
A mami, gracias por tu amor, paciencia y apoyo incondicional.*

AGRADECIMIENTOS

Una vez más y por siempre, a Dios, por acompañarme en cada momento y darme la fortaleza para luchar por el cumplimiento de mis metas y sueños día a día.

A mi amada hija Ariana, mi Titi, mi tesorito, por el amor y felicidad que me das todos los días con solo mirarte, por ser mi inspiración para salir adelante y el mayor regalo que Dios me ha dado.

A mami, por tu amor, apoyo incondicional e infinita paciencia. Gracias por ser mi mejor amiga y estar siempre presente cuando más lo he necesitado.

A mi familia, en quienes siempre puedo confiar. A mis hermanos Eduardo y Roberto, por ser parte fundamental en mi vida y porque me impulsan a ser cada día mejor. A mi papá, por tu apoyo y comprensión. A Mónica, por ser un ejemplo de madre luchadora y amorosa. A mis sobrinas Lu, Caro y Meli, por darle alegría a la familia. A tía Gilda, por el amor sincero que siempre nos has demostrado. A todos, por apoyarme en cada paso que he dado.

Al profesor Adolfo, por su orientación e invaluable aportes, disposición y colaboración durante el desarrollo del proyecto.

A los profesores Esteban y Randall, por aceptar este reto y tener la anuencia de ayudarme en todo momento.

Al personal técnico y panel de expertos pertenecientes a la empresa multinacional de bebidas y a la embotelladora, por facilitarme los recursos, espacio y tiempo sin los cuales no hubiera sido posible llevar a cabo este proyecto.

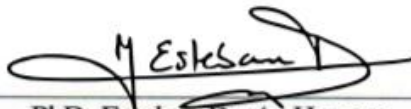
Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Ingeniería Química con énfasis en Procesos Industriales



Dra. Bárbara Miranda Morales
Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado



Mag. Adolfo Ulate Brenes
Profesor Guía



PhD. Esteban Durán Herrera
Lector



M.Sc. Randall Ramírez Loria
Lector



M.Sc. Paula Solano Sánchez
Representante del Director
Programa de Posgrado en Ingeniería Química



Beatriz Baldares Phillips
Sustentante

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
TRIBUNAL EXAMINADOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vii
RESUMEN.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
 Capítulo 1. Conceptos Básicos	1
1.1 Concepto, generalidades y fundamentos del azúcar caña.....	1
1.2 Elaboración de refrescos.....	8
1.3 Uso del jarabe de azúcar como ingrediente para la elaboración de refrescos.....	12
1.4 Legislación para uso del azúcar de caña.....	13
1.5 Técnicas de obtención del azúcar de caña para la preparación de bebidas.....	18
1.6 Parámetros de calidad del azúcar de caña.....	21
 Capítulo 2. Procesos de purificación	25
2.1 Parámetros importantes a evaluar en el jarabe de azúcar tratado.....	25
2.2 Operaciones para refinación del azúcar.....	32
 Capítulo 3. Parámetros de calidad y capacidad de producción.....	51
3.1 Parámetros de calidad a controlar en el azúcar de caña.....	51
3.2 Parámetros de calidad a controlar en el jarabe de azúcar.....	52
3.3 Capacidad de producción.....	55
 Capítulo 4. Selección de la tecnología	59
 Capítulo 5. Diagrama de flujo del proceso.....	77
 Capítulo 6. Balances de materia y energía	83
6.1 Balances de materia.....	83
6.2 Balances de energía.....	97

Capítulo 7. Dimensionamiento de los equipos seleccionados	104
7.1 Tolva con tornillo dosificador.....	104
7.2 Tanques de proceso.....	106
7.3 Centrífuga discontinua.....	109
7.4 Columnas de intercambio iónico.....	112
7.5 Filtros de tierra de diatomeas y carbón activado con discos horizontales.....	114
7.6 Filtros pulidores.....	116
7.7 Lámpara ultravioleta.....	119
7.8 Intercambiadores de calor.....	120
7.9 Bombas de jarabe.....	122
7.10 Líneas de jarabe.....	122
7.11 Automatización.....	123
 Capítulo 8. Estimación preliminar del costo de la tecnología seleccionada.....	 124
 Capítulo 9. Conclusiones y recomendaciones.....	 139
9.1 Conclusiones.....	139
9.2 Recomendaciones.....	141
 Bibliografía.....	 143
 Apéndice A	 148
 Apéndice B	 163

INTRODUCCIÓN

La industria de bebidas tiene un gran peso en la economía mundial, no solo por su aporte al PIB (Producto Interno Bruto), sino por la gran oferta de productos que ofrecen, la generación de empleos directos e indirectos y por la vinculación a otros sectores como lo son la agricultura, la industria hotelera y el turismo.

En particular, la multinacional de bebidas a la que pertenece la embotelladora que se analizará en este estudio, tiene una oferta superior a las 500 marcas y llega a más de 200 países (TCCC, 2018), además, ocupa el lugar número 14 en el ranking de empresas más valiosas del mundo (BrandZ, 2019).

Una de las materias primas más importantes para la elaboración de la mayoría de los refrescos es el azúcar, la cual proviene de diferentes fuentes y requiere de diversos tratamientos para purificarla dependiendo de la calidad con la que se adquiere.

Actualmente, la planta embotelladora que será objeto de este estudio, utiliza azúcar refinada para la producción de refrescos, la cual es 2,5 veces más costosa en comparación con los precios internacionales del azúcar blanco de plantación (ASOCAÑA, 2019). La embotelladora no tiene opción de adquirir azúcar blanco, únicamente azúcar refinada que casi no necesita tratamientos adicionales o azúcar crema que requiere de un profundo procesamiento antes de ser utilizada como materia prima, pero cuyo valor es de 5,4 \$/100 libras más económica que la azúcar refinada (Instituto Azucarero Dominicano, INAZUCAR, s.f.)

La principal problemática se da porque el ingenio que provee a la planta de esta materia prima ya no podrá abastecer la cantidad requerida en el mediano plazo, y no hay otra opción para obtener azúcar refinada dentro del país, ya que, por temas legales, tampoco es posible importarla. La única alternativa que existe como se mencionó antes, es adquirir azúcar de caña sin refinar o azúcar crema, sin embargo, la que está disponible en el mercado es de una muy baja calidad (color: 2 700 UI), lo que implica el tener que desarrollar una tecnología especializada para el tratamiento de esta azúcar.

A continuación, se resumen los beneficios de recibir esta azúcar y desarrollar la tecnología para procesarla dentro de la planta de refrescos:

- Esta embotelladora es la más grande de la región en la que está ubicada y el objetivo de la multinacional a la que pertenece, es incrementar su capacidad productiva para aumentar la exportación a otros países del área.
- La oportunidad de comprar azúcar a diferentes ingenios, ya que actualmente sólo existe un ingenio que vende azúcar refinada, pero si hay más opciones para comprar azúcar de baja calidad.

- Al tener más opciones de compra, se tiene mayor flexibilidad, lo que le da a la empresa un mayor poder de negociación.
- Como se mencionó antes, el precio de la azúcar refinada es más alto que el del azúcar de baja calidad, además, el azúcar refinado es 2,5 veces más costosa en el país en el que se localiza la planta en comparación con los precios internacionales del azúcar blanco de plantación que normalmente es el que se usa en otras embotelladoras.
- Sería el primer embotellador a nivel mundial en tener un sistema de clarificación con capacidad para tratar azúcar de tan baja calidad.
- Y lo más importante, garantizar la continuidad del negocio.

Por estas razones, se propone realizar un estudio donde se analice la viabilidad técnica del proyecto con el objetivo de contribuir en la selección de la mejor alternativa tecnológica, así como en el tamaño, presupuesto y diseño detallado del proyecto. La selección del proceso productivo adecuado es indispensable para determinar las necesidades de equipos y maquinaria, e influye de forma directa en la inversión requerida, costos e ingresos del proyecto.

Técnicamente, existirían diversos procesos productivos opcionales, cuya jerarquización podría diferir de acuerdo a los recursos económicos disponibles, ya que por lo general los procedimientos y tecnologías más modernas suelen ser las mejores técnicamente pero no desde el punto de vista financiero (Sapag & Sapag, 2000).

Por consiguiente, este estudio técnico contribuiría a seleccionar el proceso que garantice la calidad requerida para la elaboración del jarabe de azúcar como ingrediente en la producción de refrescos, de tal forma que se logre optimizar el empleo de los recursos disponibles.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto fue realizar un estudio de viabilidad técnica de un proceso de producción de jarabe de azúcar como ingrediente en la elaboración de refrescos a partir de azúcar de caña de baja calidad. Para llevar a cabo este objetivo, fue necesario realizar una investigación bibliográfica detallada y consultar a expertos y profesionales con conocimiento del proceso, tanto en la empresa donde se manufactura el jarabe, como en la Escuela de Ingeniería Química. Se analizan y definen los parámetros de calidad más importantes a evaluar tanto en el azúcar crema como en el jarabe de azúcar tratado.

Con el fin de seleccionar el tratamiento más adecuado para el refinamiento del azúcar, se analizan diferentes alternativas de operaciones unitarias enfocadas primordialmente en la reducción del color de 2 700 UI a 35 UI, el cual representa el parámetro de mayor desviación con respecto al valor requerido. Luego del análisis, se elige la siguiente secuencia de tratamiento: mezclado y afinado, centrifugado, disolución, clarificación y flotación, filtración, decoloración y desmineralización con intercambio iónico, deodorizado y pulimento, enfriamiento, almacenamiento y automatización del proceso.

Se define la capacidad de la planta de producción para un flujo de 110 L/min, basado en la proyección estimada de consumo en cinco años. De acuerdo a esto y al balance de materia realizado, se deben efectuar 4 ciclos por hora de tratamiento completo para cumplir con la demanda, es decir, cuatro ciclos de 1 668 L de jarabe, lo que equivale a 6 588 L/h. Además, se realiza un diagrama de flujo del proceso de acuerdo a la tecnología elegida, y posteriormente se efectúa el escalamiento y selección de los equipos de manera que cumplan con los requerimientos de demanda, calidad y costo-beneficio.

Para la inversión de este proyecto, se parte de un presupuesto máximo de \$ 6 000 000. Tomando en cuenta esta información, se escoge el método C del libro “Plant Desing and Economics for Chemical Engineers” de Peters y Timmerhaus, con una aproximación del $\pm 20\%$ para una empresa que procesa productos líquidos, para lograr el detalle de los costos directos, los costos indirectos y el capital de trabajo requeridos. La estimación de los costos operativos se basa en la tabla 6-18 del mismo libro. De esta forma, se obtiene que para una producción al año 5 de 57 714 m³/año, el costo variable es de \$ 196 482, el costo fijo es de \$ 45 895 y el costo total es de \$ 266 349, es decir, se tendría un costo de 4,6 \$/m³ de jarabe simple tratado. Se estima el costo anual por mantenimiento de los equipos en \$ 76 492.

Los indicadores financieros del proyecto muestran un Valor Actual Neto (VAN) negativo de \$ -2 324 784; una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 0,55 %; un porcentaje de rentabilidad de -63,8 % y un Índice de deseabilidad de 0,36. Estos resultados indican que el proyecto no es económicamente viable, ya que los ingresos no compensan los egresos; pese a esto, el proyecto debe realizarse debido a que el abastecimiento de azúcar refinada no está garantizado en el mediano plazo y tampoco se tiene la opción de importarlo. Se recomienda que la embotelladora y su corporativo realicen un análisis financiero detallado, ya que la estimación realizada para este proyecto se basó en algunas suposiciones por la falta de acceso a la información.

Índice de Cuadros

Cuadro 1.1 Aporte nutricional en 100 g de azúcar de caña.....	3
Cuadro 1.2 Requisitos del CODEX STAN 212-1999 para el azúcar de caña sin refinar.....	16
Cuadro 1.3 Requisitos físicos y químicos del azúcar refinado según NORDOM 19.....	16
Cuadro 1.4 Requisitos microbiológicos del azúcar refino o refinada según NORDOM 219.....	16
Cuadro 1.5 Requisitos sensoriales del azúcar refino o refinada según NORDOM 219.....	17
Cuadro 1.6 Requisitos físicos y químicos del azúcar crema o parda según NORDOM 602.....	17
Cuadro 1.7 Contaminantes permitidos por la norma CODEX Alimentarius en los azúcares para consumo humano según NORDOM 602.....	18
Cuadro 2.1 Clasificación y pesos moleculares de los colorantes.....	27
Cuadro 3.1 Pruebas de recepción físicoquímicas para el azúcar crema.....	51
Cuadro 3.2 Pruebas de recepción microbiológicas para el azúcar crema.....	52
Cuadro 3.3 Análisis de monitoreo diario (cada 4 horas) del agua.....	52
Cuadro 3.4 Análisis microbiológico de monitoreo semanal del agua.....	53
Cuadro 3.5 Parámetros de análisis trimestral requeridos para el jarabe simple.....	54
Cuadro 3.6 Metales pesados de análisis trimestral requeridos para el jarabe simple.....	54
Cuadro 3.7 Parámetros microbiológicos de análisis trimestral requeridos para el jarabe simple.....	54
Cuadro 3.8 Proyección del consumo de azúcar crema en los próximos 5 años.....	56
Cuadro 3.9 Proyección del consumo de jarabe simple tratado a 65 °Brix en los próximos 5 años.....	57
Cuadro 3.10 Proyección del consumo de jarabe simple tratado a 65 °Brix en los próximos 5 años, considerando las pérdidas estimadas.....	58
Cuadro 4.1 Características promedio del azúcar crema y valores requeridos por la Compañía para el jarabe de azúcar procesado.....	59

Cuadro 4.2 Etapas llevadas a cabo en la centrífuga discontinua de alta velocidad.....	61
Cuadro 4.3 Ventajas y desventajas de las tecnologías para remoción de color.....	64
Cuadro 4.4 Importancia de cada uno de los parámetros de selección.....	70
Cuadro 4.5 Calificación de las tecnologías de intercambio iónico y adición de precipitantes y floculantes.....	71
Cuadro 4.6 Calificación de las tecnologías de filtración con carbón activado y filtro ayuda y adición de peróxido de hidrógeno.....	72
Cuadro 4.7 Calificación de las tecnologías de adición de hipoclorito de sodio y empleo de ozono.....	72
Cuadro 6.1 Balance de masa para el proceso de obtención de Jarabe a 75 °Brix.....	84
Cuadro 6.2 Balance de masa en el tanque de afinado J-101.....	85
Cuadro 6.3 Balance de masa en la centrífuga O-101.....	86
Cuadro 6.4 Balance de masa en el tanque disolutor A-102.....	87
Cuadro 6.5 Balance de masa en el tanque clarificador O-102.....	88
Cuadro 6.6 Balance de masa en el tanque de flotación O-104.....	91
Cuadro 6.7 Balance de masa en el tanque de calentamiento J-102.....	92
Cuadro 6.8 Balance de masa para los procesos de decoloración y desmineralización.....	94
Cuadro 6.9 Balance de masa en el tanque de calentamiento J-103.....	95
Cuadro 6.10 Balance de energía en el tanque A-101 de preparación del jarabe de alta pureza.....	98
Cuadro 6.11 Balance de energía en el tanque de afinado del jarabe J-101.....	99
Cuadro 6.12 Balance de energía en el tanque disolutor A-102.....	100
Cuadro 6.13 Balance de energía en el tanque de flotación O-104.....	102
Cuadro 6.14 Balance de energía en el intercambiador de calor I-104.....	102
Cuadro 7.1 Dimensiones de la tolva con capacidad de 400 kg de azúcar crema.....	106
Cuadro 7.2 Dimensiones de los tanques de proceso.....	107
Cuadro 7.3 Características de la centrífuga discontinua BMA Serie E.....	110
Cuadro 7.4 Características de las columnas de intercambio iónico.....	113
Cuadro 7.5 Características de los filtros de placas discontinuos.....	115
Cuadro 7.6 Características de los filtros pulidores.....	118
Cuadro 7.7 Características de la lámpara de luz ultravioleta UV.....	119
Cuadro 7.8 Características de los intercambiadores de placas SIGMA M 26 API Schmidt-Bretten.....	121

Cuadro 8.1 Estimación del capital invertido utilizando el método C con una aproximación del $\pm 20\%$ para una empresa procesadora de productos líquidos.....	125
Cuadro 8.2 Estimación del costo por mantenimiento y reparaciones.....	126
Cuadro 8.3 Estimación del costo de los salarios por mano de obra.....	127
Cuadro 8.4 Estimación del costo total del jarabe simple tratado para el año 5 de operación.....	128
Cuadro 8.5 Costo total, ganancia y valor de venta estimado del jarabe simple tratado producido del año 1 al año 5.....	130
Cuadro 8.6 Costos de inversión y datos generales requeridos para el desarrollo del flujo de efectivo del proyecto de elaboración de jarabe simple tratado.....	131
Cuadro 8.7 Flujo de efectivo inicial del año 1 al año 5.....	131
Cuadro 8.8 Flujo de efectivo inicial del año 6 al año 10.....	131
Cuadro 8.9 Depreciación de activos y valor de desecho.....	132
Cuadro 8.10 Capital de trabajo para el año 1.....	134
Cuadro 8.11 Cuenta de resultados del año 1 al año 5.....	134
Cuadro 8.12 Cuenta de resultados del año 6 al año 10.....	135
Cuadro 8.13 Flujo de efectivo del proyecto de inversión del año 1 al año 5.....	136
Cuadro 8.14 Flujo de efectivo del proyecto de inversión del año 6 al año 10.....	136
Cuadro 8.15. Indicadores financieros del proyecto.....	137

Índice de Figuras

Figura 2.1 Centrífuga de cesta suspendida en la parte superior.....	36
Figura 5.1 Diagrama de flujo del proceso de producción de jarabe de azúcar como ingrediente en la elaboración de refrescos a partir de azúcar de caña de baja calidad.....	77
Figura 5.2 Diagrama de flujo del proceso de mezclado y afinado, centrifugado y disolución.....	78
Figura 5.3 Diagrama de flujo del proceso de clarificación, flotación y filtración.	79
Figura 5.4 Diagrama de flujo del proceso de decoloración, desmineralización, deodorizado y pulimento.....	81
Figura 5.5 Diagrama de flujo del proceso de enfriamiento y almacenamiento.....	82
Figura 6.1 Proceso de elaboración del jarabe de alta pureza a 75 °Brix.....	84
Figura 6.2 Diagrama de flujo del proceso de mezclado y afinado.....	85
Figura 6.3 Diagrama de flujo del proceso de mezclado, afinado y centrifugado.....	86
Figura 6.4 Diagrama de flujo del proceso de disolución.....	88
Figura 6.5 Diagrama de flujo del proceso de clarificación.....	89
Figura 6.6 Diagrama de flujo del proceso de floculación.....	90
Figura 6.7 Diagrama de flujo del proceso de filtración.....	92
Figura 6.8 Diagrama de flujo del proceso de decoloración y desmineralización.....	93
Figura 6.9 Diagrama de flujo del proceso de deodorizado y pulimento.....	94
Figura 6.10 Diagrama de flujo del proceso de enfriamiento y almacenamiento.	96
Figura 7.1 Tolla de alimentación y tornillo sinfín.....	105
Figura 7.2 En el lado izquierdo se observan los orificios elípticos de la canasta. En el lado derecho, una representación de la centrífuga E1390.....	112
Figura 7.3 Bosquejo simple del filtro de placas.....	116
Figura 7.4 Filtro de cartucho PALL modelo PREcart PP II Filter Cartridges...	118
Figura 7.5 Lámpara de luz UV Aquafine LS HX Series.....	120
Figura 7.6 Intercambiador de placas selladas API Schmidt-Bretten tipo SIGMA M 26.....	122



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Beatriz Baldares Phillips, con cédula de identidad 1-1101-0983, en mi condición de autor del TFG titulado Estudio de viabilidad técnica de un proceso de producción de jarabe de azúcar como ingrediente en la elaboración de refrescos a partir de azúcar de caña de baja calidad.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI ☒ NO * ☐

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Beatriz Baldares Phillips

Número de Carné: 990447 Número de cédula: 1-1101-0983

Correo Electrónico: beatrizbaldares@gmail.com

Fecha: 19/06/2020 Número de teléfono: 8840-4059

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Mag. Adolfo Ulate Brenes

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Concepto, generalidades y fundamentos del azúcar de caña.

El *Azúcar*, es el término aplicado a cualquier compuesto químico del grupo de los hidratos de carbono que se disuelve en agua con facilidad; son incoloros, inodoros y normalmente cristalizables. Todos tienen un sabor más o menos dulce. En general, a todos los monosacáridos, disacáridos y trisacáridos se les denomina azúcares para distinguirlos de los polisacáridos como el almidón, la celulosa y el glucógeno (Castillo, 2007). El azúcar se obtiene principalmente de la caña de azúcar y de la remolacha, pero también se puede obtener del maíz.

La *caña de azúcar* es un disacárido formado por la condensación de la glucosa y la fructuosa, y es el nombre común de ciertas especies de herbáceas vivaces pertenecientes a la familia de las Gramíneas y al género *Saccharum*, en el cual existen seis especies: *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. edule* y *S. officinarum*. Los clones comerciales de caña de azúcar son derivados de las combinaciones entre las seis especies anteriores, predominando las características de *S. officinarum* como productora de azúcar (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, MAG, 1991).

La caña de azúcar es originaria del Oriente, especialmente de países como India y China; actualmente se cultiva mucho en países tropicales y subtropicales de todo el mundo por el azúcar que contiene en los tallos (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, MAG, 1991).

En la actualidad, los principales productores de azúcar de caña en el mundo son Brasil y la India, quienes utilizan el producto en la industria azucarera y en la producción de alcohol. Estos países también se encuentran dentro de los principales consumidores de azúcar, junto con la Unión Europea, China y Estados Unidos (Ramírez, 2008).

La *Melaza* es un líquido viscoso de color castaño oscuro que se obtiene como producto secundario en la fabricación del azúcar, en especial del azúcar de caña. Las melazas son la parte no cristizable del azúcar. Sus características de sabor y de color las hacen un elemento indeseable en la preparación de refrescos (Castillo, 2007).

En lo que se refiere a la parte nutricional, la caña de azúcar es un alimento con un aporte significativo de calorías e hidratos de carbono.

Los hidratos de carbono proporcionan de energía al organismo, donde aproximadamente el 60% de la energía proviene de los carbohidratos, ya sea por medio de los alimentos ricos en carbohidratos o en almidón, o por las reservas de glucógeno almacenado en el cuerpo. El carácter hidrofílico de los carbohidratos, hacen que éstos constituyan una fuente rápida de obtención de energía, ya que son atacados con facilidad por enzimas hidrolíticas (Salud y Buenos Alimentos, 2015).

Por otro lado las calorías favorecen el mantenimiento de las funciones vitales, el desarrollo de la actividad física y de la temperatura corporal; además, aportan la energía necesaria para combatir posibles problemas o enfermedades que pueda presentar el organismo. El exceso de calorías sólo es recomendable en ciertas circunstancias como en las épocas de crecimiento y renovación celular, en personas que realizan mucha actividad física o en personas que se están recuperando de alguna intervención quirúrgica.

Además de los hidratos de carbono y las calorías, la caña de azúcar posee otros nutrientes en menor porcentaje como lo es el potasio, calcio, sodio, fósforo, magnesio, hierro, vitamina B3, zinc, vitamina B6, selenio y la vitamina B9 (Salud y Buenos Alimentos, 2015).

Cuadro 1.1 Aporte nutricional en 100 g de azúcar de caña (Salud y Buenos Alimentos, 2015).

Propiedad	Cantidad
Energía	394,50 kcal
Hidratos	98,70 g
Agua	1,30 g
Potasio	161,10 mg
Calcio	42,80 mg
Sodio	20,15 mg
Fósforo	12,15 mg
Magnesio	11,10 mg
Hierro	1,10 mg
Vitamina B3	0,50 mg
Zinc	0,10 mg
Vitamina B6	0,01 mg
Selenio	0,90 µg
Vitamina B9	0,50 µg

1.1.1 Clima y suelo

La caña de azúcar requiere altas temperaturas durante el período de crecimiento y bajas temperaturas durante el período de maduración. Mientras más grande sea la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas durante la maduración, mayores serán las posibilidades de obtener jugos de alta pureza y un mayor rendimiento de azúcar. Las temperaturas óptimas para las diferentes etapas del desarrollo de este cultivo son:

- para la germinación: entre 32 °C y 38 °C,
- para el macollamiento (reproducción): 32 °C,
- y para la etapa de crecimiento: 27 °C.

En Costa Rica, los meses más favorables para la maduración de la caña de azúcar y la mejor época para la zafra o cosecha se da durante los meses de enero, febrero, marzo y abril. En otros países como República Dominicana, la zafra se efectúa entre la última semana de noviembre y la última semana de junio.

La precipitación anual adecuada para este cultivo es de 1 500 mm bien distribuida durante el período de crecimiento. La caña necesita la mayor disponibilidad de agua en la etapa de crecimiento y desarrollo, durante el período de maduración esta cantidad debe reducirse para restringir el crecimiento y favorecer la acumulación de sacarosa (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, MAG, 1991).

La luz es uno de los factores básicos para la producción de azúcares por lo que su intensidad es muy importante. En condiciones normales de humedad, la radiación solar tiene gran influencia en el crecimiento, así como en la formación de los azúcares y su grado de pureza.

La caña de azúcar crece satisfactoriamente en una gran variedad de tipos de suelos pero los más adecuados para este cultivo son los de textura franca (composición óptima para el cultivo) o franco arcillosos, bien drenados, profundos, aireados, ricos en materia orgánica, topografía plana y semiplana y con pH entre 5,5 y 7,5 (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, MAG, 1991).

1.1.2 Descripción de un proceso típico para obtención de azúcar de caña

Labores de campo y cosecha

El proceso productivo se inicia con la preparación del terreno, etapa previa a la siembra de la caña. Una vez la planta madura entre los 12 y 14 meses, se corta y se recoge para llevarla hacia los patios de caña de los ingenios.

Patios de caña de los ingenios

La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras, las cuales cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño más uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

Molienda

La caña preparada proveniente de las picadoras, llega al área de los molinos que están constituidos por tres o cuatro mazas metálicas que mediante presión extraen el jugo de la caña. En el recorrido de la caña por el molino, se agrega agua generalmente caliente, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Éste proceso de extracción es llamado maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda, se puede aprovechar como combustible en otra etapa del proceso (Instituto Azucarero Dominicano, INAZUCAR, s.f.).

Clarificación

El jugo obtenido en la etapa de molienda es de carácter ácido (pH aproximado: 5,2), éste se trata con lechada de cal, la cual eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa. La cal también ayuda a precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas que vienen en el jugo y para aumentar o acelerar su poder coagulante. Luego, se eleva la temperatura del jugo con cal mediante un sistema de tubos calentadores.

La clarificación del jugo se da por sedimentación, donde los sólidos se precipitan en forma de lodo llamado cachaza y el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Éste jugo sobrante se envía a los evaporadores y la cachaza sedimentada que todavía contiene

sacarosa, pasa a un proceso de filtración al vacío donde se extrae la mayor cantidad de jugo posible. El desecho de cachaza puede ser utilizado en el campo para el mejoramiento de los suelos pobres en materia orgánica.

Evaporación

Aquí se comienza a evaporar el agua del jugo. El jugo claro que posee casi la misma composición del jugo crudo extraído (con la excepción de las impurezas eliminadas en la cachaza) se recibe en los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 10 % y 12 % y se obtiene un jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 % al 60 %.

Este proceso se da normalmente en evaporadores que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. El jugo entra primero en el pre-evaporador y se calienta hasta el punto de ebullición. Al comenzar a ebulir se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así un menor punto de ebullición en cada evaporador. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura. La meladura es purificada en un clarificador.

Cristalización

La cristalización se realiza en los tachos, que son recipientes al vacío de un solo efecto. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templas para lograr la mayor concentración de sacarosa.

Centrifugación

La masa pasa por las centrífugas, máquinas giratorias en las cuales los cristales se separan del licor madre por medio de una fuerza centrífuga aplicada a tambores rotatorios que

contienen mallas interiores. La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a evaporaciones superiores y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas, se obtiene una miel final que se retira del proceso y que normalmente se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes (Instituto Azucarero Dominicano, INAZUCAR, s.f.).

Secado

El azúcar húmedo se transporta por elevadores y bandas para alimentar las secadoras que consisten en elevadores rotatorios en los cuales el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El azúcar debe tener baja humedad, aproximadamente 0,05 % para evitar la formación de terrones.

Enfriamiento

El azúcar se seca a una temperatura cercana a 60 °C, se pasa por los enfriadores rotatorios inclinados que llevan el aire frío en contracorriente, en donde se disminuye su temperatura hasta aproximadamente 40 °C - 45 °C, donde por último se conduce el azúcar a la zona de empaque.

1.1.3 Tipos de Azúcar

El azúcar se clasifica dependiendo de los procesos aplicados durante la extracción, los cuales se realizan de acuerdo a los requerimientos del cliente. Los más comunes son:

- Crudo, mascabado o morena: se produce en cristales de mayor tamaño y conserva una película de melaza que envuelve cada cristal.
- Blanco directo: se producen por procesos de clarificación y su producción final se logra en una sola etapa de clarificación.

- Refinado: es necesario cristalizar dos veces con el fin de lograr su máxima pureza (Instituto Azucarero Dominicano, INAZUCAR, s.f.).

1.2 Elaboración de refrescos

Para la elaboración de refrescos se requiere de la preparación de varias etapas clave en el proceso, tal como la inspección de las materias primas, el tratamiento de aguas, la elaboración del azúcar líquido, la preparación de envases retornables y no retornables, la elaboración del jarabe terminado, y el desarrollo de los pasos de proporcionado y carbonatación, así como las de llenado, tapado, codificado y, por último, las de embalado, almacenamiento y distribución.

Materias Primas

Las materias primas que se utilizan en cada uno de los procesos productivos se reciben en la planta. Cada material es inspeccionado al recibo y debe cumplir con una serie de requerimientos para que se considere aprobado y pueda formar parte de los procesos que se llevan a cabo en la empresa (Romero, MBA Ing. Industrial, 2015).

Tratamiento de Aguas

El agua extraída de los pozos es clorada y enviada a una cisterna de almacenamiento temporal, posteriormente recibe un tratamiento multibarrera que consiste básicamente en el proceso de clarificado del agua, seguido de cloración y un proceso de filtración mediante filtros de arena, filtros de carbón y filtros pulidores y por último radiación ultravioleta (UV). Al agua tratada se le realizan análisis organolépticos y fisicoquímicos como el pH, turbidez, sólidos totales disueltos, dureza parcial y total y medición de cloro cada dos horas para asegurar la calidad de la misma en todo momento. Además, se realizan análisis microbiológicos al menos una vez a la semana.

Azúcar líquido

El jarabe simple que se utiliza para endulzar la bebida, es un proceso que tiene como objetivo refinar el azúcar de caña mediante un tratamiento físico-químico en el cual se disuelve el azúcar en agua tratada y se le adiciona carbón activado, esta solución se calienta a 80 °C durante 30 minutos, de este modo el carbón activado actúa adsorbiendo sobre su superficie las impurezas que imparten olor y sabor a la solución, posteriormente esta solución es filtrada haciéndola pasar por un filtro de placas horizontales eliminando así todas las impurezas.

Como resultado final, se obtiene un jarabe (solución de azúcar) con un alto poder edulcorante, incoloro, sin sabor a melazas y libre de impurezas en suspensión. Al azúcar líquido se le realiza un riguroso control de calidad, así como pruebas organolépticas, de brix y microbiológicas (Romero, MBA Ing. Industrial, 2015).

Jarabe Terminado

Las materias primas y pulpas de frutas que conforman cada bebida, se mezclan con azúcar líquido o jarabe simple tratado y agua tratada, donde el orden de adición y la cantidad de las partes así como el tiempo de agitación depende de las instrucciones de mezclado.

Esta agitación ayuda a evitar la formación de grumos en la mezcla y contribuye a minimizar la formación de espuma durante la operación posterior de llenado. Al final de la agitación, se toma una muestra del tanque para verificar que sus características (color, olor, acidez, concentración, microbiología, etc.) estén de acuerdo con la especificación técnica.

Proceso de proporcionado y carbonatado

El agua tratada es enviada por tubería desde el tratamiento de aguas hasta el equipo de lámparas ultravioleta, luego, es enviada a un equipo llamado desaireador/enfriador en el

cual se genera un vacío donde la mayor parte del oxígeno que pueda contener el agua es removido, esto antes de ser mezclado con el jarabe terminado.

Los procesos de desaireado y enfriado, en el cual se utiliza NH_3 como refrigerante, se dan simultáneamente en el tanque desaireador y se realizan con la intención de facilitar la posterior carbonatación del producto y disminuir el espumeo en la operación de llenado que se realizará más adelante.

El jarabe terminado pasa a través de una tubería la cual tiene incorporada un filtro o “strainer” con el fin de enviarlo hacia una cuba donde se realizarán análisis microbiológicos previos al premezclado con el agua tratada (Romero, MBA Ing. Industrial, 2015).

El jarabe terminado y el agua tratada caen de las cubas respectivas hacia el tanque mezclador con un flujo determinado por el tamaño del diámetro de la tubería que conecta la cuba con el tanque. El tamaño de este diámetro es variable y depende de la proporción de agua y jarabe que requiera el producto. La pre-mezcla de agua con jarabe terminado es impulsada a través de una bomba centrífuga que se encarga de mezclar ambos ingredientes hasta obtener un líquido totalmente homogéneo.

Luego, la mezcla pasa a través de una tubería por la cual se inyecta gas CO_2 con la intención de pre-carbonatar el producto y así manejar menores presiones dentro del tanque carbonatador.

La mezcla viaja a través de una tubería y entra al tanque carbonatador. Este contiene una serie de placas por las cuales corre la mezcla en forma de una película fina. Las placas son parte de un sistema de refrigeración que utiliza NH_3 como refrigerante. Se genera un intercambio de calor entre este gas y la mezcla que causa una disminución en la temperatura de la segunda. La presión de succión del NH_3 es la que determina que la temperatura final de la mezcla sea de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Romero, MBA Ing. Industrial, 2015).

Simultáneamente se realiza la carbonatación. El tanque carbonatador se encuentra presurizado debido al CO₂ gaseoso que hay en su interior. La baja temperatura favorece que el CO₂ presente en el interior del tanque se incorpore en la mezcla. El grado de carbonatación depende del producto que se está elaborando y debe cumplir con la especificación técnica de la empresa.

A la bebida obtenida deben realizársele pruebas organolépticas, además debe tener un color normal y no debe tener materia extraña, turbidez, sedimento, flóculos, materia flotando o en suspensión.

El producto carbonatado pasa a través de una tubería, la cual tiene incorporado un filtro o “strainer” que retiene cualquier partícula extraña mayor a 0,147 mm.

Todas las bebidas terminadas deben ser sometidas a estrictos análisis organolépticos, fisicoquímicos, microbiológicos y de calidad del producto (Romero, MBA Ing. Industrial, 2015).

Llenado, tapado y codificado

La bebida viaja por medio de tubería hasta llegar al tazón de la llenadora. Los envases llegan al mismo lugar por medio de bandas transportadoras. El tazón de la llenadora es circular y gira constantemente durante la operación de llenado. Cada vuelta que realiza está constituida por 4 etapas: creación de una contrapresión, llenado, nivelación y alivio de presión.

Cada uno de los envases es sorteado por medio de los juegos de manejo, a un espacio libre en el tazón de la llenadora. Cada espacio está provisto de un dispositivo propio (válvula de llenado) que será el encargado de llenar la botella.

Posteriormente se realiza el tapado, el cual puede ser de 2 tipos: coronado, cuando la botella es de vidrio y se utilizan coronas o tapas metálicas, o tapado, cuando la botella es de plástico y se utiliza tapa rosca o Sport Cap.

Luego, el equipo Videojet coloca los códigos a los productos, ya sea en el cuello para las botellas de PET o en la tapa para las botellas de vidrio y retornables PET. Como parte de la codificación, se coloca información sobre el lugar y la línea de producción donde se produjo la botella, hora de producción y fecha de vencimiento. Este código debe ser totalmente legible, centrado, imborrable y con los datos correctos.

Todas las bebidas son sometidas no solo a estrictos análisis de producto, sino también a pruebas de envase, tapado y codificado (Romero, MBA Ing. Industrial, 2015).

Embalado, almacenamiento y distribución

Como último paso, las botellas retornables de plástico y de vidrio son introducidas dentro de cajas plásticas y acomodadas en estibas sobre tarimas de madera.

En el caso de las botellas no retornables, estas son empacadas con plástico termo-encogible en grupos de 6 o 12 unidades según sea el caso. Una vez acomodados los paquetes en la tarima, esta es envuelta con plástico estirable para evitar el desacomodo del producto.

Las tarimas son llevadas al área de almacenamiento donde se mantienen resguardadas hasta que vayan a ser distribuidas, para lo cual se colocan en los camiones repartidores que llevan el producto a las agencias o a los puntos de venta (Romero, MBA Ing. Industrial, 2015).

1.3 Uso del jarabe de azúcar como ingrediente para la elaboración de refrescos

El uso del jarabe de azúcar o jarabe simple tratado, se da cuando este se convierte en un ingrediente de un determinado alimento. En este caso, el uso del jarabe de azúcar como ingrediente se da en la elaboración de bebidas, donde el jarabe es mezclado con el agua tratada y las materias primas que conforman cada bebida, para luego pasar por los procesos de proporcionado y carbonatado, y por último el de embotellado.

Para que el jarabe de azúcar sea apto para la elaboración de bebidas, este debe ser incoloro, no debe tener sabor a melazas ni contener impurezas en suspensión. Además, deberá cumplir con todas las especificaciones de calidad de la embotelladora, por lo que deberá someterse a rigurosos controles fisicoquímicos, organolépticos y microbiológicos.

1.4 Legislación para uso del azúcar de caña

En lo que respecta al uso del azúcar de caña, la primera ley que debe citarse es la que se encuentra en la Ley General de Salud N° 4201, en el Capítulo III De los alimentos y actividades relacionadas, artículos 125 y 127.

“Artículo 125 – Toda persona tiene derecho a exigir que los alimentos que adquiriera o que reciba, a cualquier título, sean sanos y correspondan, en su calidad, naturaleza y seguridad, a las declaraciones contenidas en su rotulación y promoción o a las que el proveedor emita en la venta o entrega.”

“Artículo 127 – La producción, la elaboración, el almacenamiento, la fabricación, la importación, el comercio en todas sus formas, el transporte, la manipulación, el suministro a cualquier título, y el expendio de productos alimentarios quedan sujetas a las disposiciones de esta ley, de sus reglamentos y de las resoluciones administrativas emanadas de la SESPAS, así como a las normas Técnicas Dominicanas (NORDOM) y en su defecto, a las normas del Código Alimentario (CODEX). Estas disposiciones deberán establecer los criterios y definiciones oficiales a fin de garantizar que estos alimentos sean

sanos, aptos para el consumo humano, con calidad nutritiva y provengan de establecimientos autorizados por SESPAS.”

También se puede citar el Decreto No. 52801 que aprueba el Reglamento General para Control de Riesgos en Alimentos y Bebida en la República Dominicana. Que para el caso de los azúcares se puede mencionar del Capítulo X el siguiente artículo:

“Artículo 130 - AZÚCAR es la sacarosa natural obtenida por cristalización del jugo de diversas plantas, como la caña de azúcar (*Sacharum Offrcinarurum* L.) o la remolacha (*Beta Bulgaria*, V. Ripa). Debe ser soluble en agua, con la cual dará un soluto limpio. No debe contener dextrina, amilíceas ni otras sustancias extrañas. Las variedades de azúcar, que se señalan a continuación, deberán ceñirse a las siguientes disposiciones:

- a) AZÚCAR REFINADA es el azúcar que contiene por lo menos 99,5 % de sacarosa y no más de 0,10 % de sustancias insolubles en agua. Su contenido de cenizas no deberá ser superior al 0,2 %. Estas mismas características deben tener los tipos denominados "azúcar granulada", "azúcar flor", "azúcar de pan".
- b) AZÚCAR PARDA o CREMA es la que contiene 97 % de sacarosa, como mínimo, y no más de 0,2 % de sustancias insolubles en agua. Su contenido de cenizas no deberá ser superior al 0,5 %.
- c) AZÚCAR CAMDE es la sacarosa obtenida por la cristalización lenta de soluciones de azúcar a temperaturas que fluctúan entre 50 y 60 °C. Debe cumplir los requisitos establecidos para azúcar refinada.
- d) AZÚCAR MOSCAVADA es la que contiene menos de 94 % de sacarosa, cuya humedad no exceda del 2 %, con residuo insoluble máximo de 0,5 % y cenizas hasta un 4 %.”

Además, en el Párrafo II de este Decreto se resalta el cumplimiento que debe hacerse del Codex Alimentarius.

“PÁRRAFO II – Todos los alimentos contemplados en este Reglamento y cualesquiera otras formulaciones o preparaciones que puedan desarrollarse, deben cumplir con las normas alimentarias desarrolladas por el CODEX ALIMENTARIUS, adoptadas u homologadas por los comités técnicos auxiliares del mismo y aprobadas por la Dirección General de Normas y Sistemas de Calidad (DIGENOR).”

La normativa relacionada al control de los alimentos, está a cargo de SESPAS (Secretaría de Estado de Salud Pública y Asistencia Social), así como del Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL), que es la autoridad nacional responsable de la normalización y de la metrología legal, industrial y científica del país.

A través del INDOCAL se administran muchas normas técnicas como las que regulan los diferentes tipos de azúcar, por ejemplo, la NORDOM 217 que define las especificaciones del azúcar crema, la NORDOM 218 sobre azúcar afinado, la NORDOM 219 sobre azúcar refinado o la NORDOM 602 sobre las especificaciones, clasificación o designación del azúcar fortificada con vitamina A.

Estas normas técnicas se basan en normas internacionales como lo son el Codex Alimentarius, respaldado por la Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (por sus siglas en inglés), y cuyo fin es garantizar alimentos inocuos y de calidad a todas las personas en cualquier parte del mundo.

Las normas técnicas para los azúcares, también se respaldan con la Comisión Internacional de Métodos Uniformes para Análisis de Azúcar, más conocida como ICUMSA por sus siglas en inglés (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis), organismo internacional que establece métodos analíticos para la industria azucarera. Algunas especificaciones para el azúcar proveniente del jugo de caña se presentan a continuación en los cuadros siguientes. Por ejemplo, en el cuadro 1.2 se muestran los requisitos para el azúcar de caña sin refinar según el CODEX.

Cuadro 1.2 Requisitos del CODEX STAN 212-1999 para el azúcar de caña sin refinar.

Características	Requerimiento
Dióxido de azufre (aditivo alimentario)	20 mg/kg (dosis máxima permitida).
Metales pesados	Exento de metales pesados en cantidades que puedan constituir un peligro para la salud.
Residuos de plaguicidas	Límite máximo establecido por la Comisión del Codex Alimentarius.

En los cuadros 1.3, 1.4 y 1.5 se presentan los requerimientos para el azúcar refino o refinada según la norma técnica NORDOM 219.

Cuadro 1.3 Requisitos físicos y químicos del azúcar refinado según NORDOM 219.

Parámetros de calidad	Unidad	Valores	Nivel
Polarización	%	99,90	Mínimo
Color	U.I.	45,00	Máximo
Cenizas Sulfatadas/conductividad	%	0,04	Máximo
Humedad	%	0,04	Máximo
Azúcares reductores directos	%	0,04	Máximo
Turbidez	U.I.	25,00	Máximo
Dióxido de azufre (sulfitos)	ppm	15,00	Máximo
Materia insoluble	ppm	20,00	Máximo
Plomo	ppm	0,50	Máximo
Arsénico	ppm	1,00	Máximo
Partículas metálicas (hierro)	ppm	15,00	Máximo
Potencial floc	U.A.	0,14	Máximo

Nota: U.I.= Unidades ICUMSA, U.A.= Unidad de absorbancia.

Cuadro 1.4 Requisitos microbiológicos del azúcar refino o refinada según NORDOM 219.

Parámetros de calidad	Unidad	Límite
Mesófilos aerobios	UFC/g	Máximo 20
Hongos	UFC/g	<10
Levaduras	UFC/g	<10
Salmonella sp	---	Ausente en 25 g
Escherichia coli	NMP/g	Ausente

Nota: UFC = Unidades formadoras de colonias. NMP = Número más probable.

Cuadro 1.5 Requisitos sensoriales del azúcar refino o refinada según NORDOM 219.

Características	Requerimiento
Aspecto	Granulado uniforme
Sabor	Dulce
Color	Blanco
Olor	Característicos del producto

Como parte de los requisitos organolépticos, la norma solicita que el azúcar refinado esté libre de impurezas derivadas del almacenamiento, por ejemplo, fragmentos de vidrio, plásticos, metal, hilos de costales, así como cualquier otro contaminante de origen animal, vegetal o mineral.

La NORDOM 219 también indica otros aspectos sobre las instalaciones de producción que deben ser higiénicas, las condiciones adecuadas de almacenamiento, los métodos de prueba que deben realizarse acorde a ICUMSA y las especificaciones de envasado y etiquetado.

Actualmente, la empresa puede optar por el uso del azúcar refino y el azúcar crema fortificada con vitamina A para la elaboración de sus productos, sin embargo, para utilizar el azúcar crema se necesita de un proceso de clarificado “in situ”, por lo que es una alternativa que se analizará en los siguientes capítulos. Por el momento, se utiliza el azúcar refino como ingrediente en las bebidas manufacturadas.

A continuación, se presentan en los cuadros 1.6 y 1.7 las especificaciones de la norma técnica NORDOM 602 correspondientes al azúcar crema o azúcar parda fortificada con vitamina A.

Cuadro 1.6 Requisitos físicos y químicos del azúcar crema o parda según NORDOM 602.

Parámetros de calidad	Unidad	Valores	Nivel
Polarización	(°S)	99,0 97,5	Mínimo Máximo
Color	U.I.	3 000	Máximo

Continuación Cuadro 1.6 Requisitos físicos y químicos del azúcar crema o parda según NORDOM 602.

Parámetros de calidad	Unidad	Valores	Nivel
Cenizas Sulfatadas	%	0,7	Máximo
Factor de seguridad	%	0,3	---
Tamaño del grano	mm	0,8 – 1,0	Máximo

Nota: U.I.= Unidades ICUMSA, U.A.= Unidad de absorbancia.

S = Grado de sacarosa

En cuanto a requisitos generales, la norma señala que el azúcar no deberá contener colorantes adicionales ni otras sustancias que puedan modificar la naturaleza misma del producto.

Como parte de los requerimientos microbiológicos, el azúcar crema debe estar libre de patógenos y/o sustancias nocivas que perjudiquen la salud del consumidor o que puedan deteriorar el producto almacenado.

Cuadro 1.7 Contaminantes permitidos por la norma CODEX Alimentarius en los azúcares para consumo humano según NORDOM 602.

Contaminantes	Nivel máximo
Arsénico (As)	1 mg/kg
Cobre (Cu)	2 mg/kg
Plomo (Pb)	0,5 mg/kg

Otros aspectos como los métodos de muestreo, los análisis y métodos de ensayo, así como las especificaciones para el rotulado y el etiquetado del azúcar, son indicados también en esta norma.

1.5 Técnicas de obtención de azúcar de caña para la preparación de bebidas.

La obtención del azúcar empieza en los patios de caña de los ingenios, pasando por los procesos de molienda, clarificación, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y enfriamiento como se describió en la sección 1.1.2.

La manufactura de refrescos implica el tratamiento del agua que se va a utilizar, la elaboración del jarabe simple (azúcar líquido), y la mezcla de estos insumos con las bases de bebida y el gas carbónico.

Dentro de los ingenios donde se procesa la caña, se producen diferentes calidades de azúcar, que varían de acuerdo a la limpieza del producto final. En muchas plantas de refrescos, el azúcar utilizado en el proceso se coloca dentro de un término medio entre aquellos con baja y alta calidad de refinación, de ahí que se le debe dar un tratamiento adicional de clarificación (TCCC, 2008).

El proceso de *Clarificado de Azúcar* tiene como objetivo la eliminación de sustancias en suspensión, sustancias disueltas, la supresión de microorganismos, además de la posible corrección de algunas características físico-químicas; de esta forma se obtiene un jarabe simple, limpio, claro y de un alto poder edulcorante, que podrá ser utilizado para endulzar las bebidas.

La manufactura del jarabe simple requiere de agua tratada de la misma calidad que la que se usa para la bebida terminada, por lo cual debe someterse a un proceso de desinfección y filtración multibarrera.

En las embotelladoras que pertenecen a la marca corporativa de refrescos en las que se desarrolla este proyecto, se emplean tres procesos comunes para clarificar el azúcar blanco de caña granulado y sin refinar: carbón activado, intercambio iónico y floc –flotación (TCCC, 2008).

El proceso de carbón activado se emplea para clarificar azúcar con un color no mayor a 200 UI (Unidades ICUMSA, por sus siglas en inglés). Utiliza principalmente las propiedades de adsorción del carbón activado en polvo para la remoción de los cuerpos de color y olor de una solución de jarabe de azúcar.

El carbón activado tiene una tasa de adsorción alta para los cuerpos de color y los compuestos de olor sobre un gran rango de pesos moleculares. El carbón activado también adsorbe otros no azúcares como coloides, flocs y agentes espumantes (TCCC, 2007).

El proceso de intercambio iónico utiliza resinas de intercambio aniónico fuertemente básicas para decolorar las soluciones del azúcar. El proceso empieza cuando una solución de azúcar que contiene colorantes aniónicos se pasa por las resinas de intercambio aniónico fuertemente básicas en la forma de cloruro. Los cuerpos de color se intercambian por los iones de cloruro y después se eliminan del jarabe. La solución del azúcar tratada con la resina, se pasa después por el segundo lecho de resina catiónica para eliminar las aminas que pudieran haberse formado. Después se pasa el jarabe por un lecho de carbón activado para la remoción final del olor y el color, y por último, se filtra.

Al igual que el clarificado con carbón activado, este proceso se utiliza para tratar azúcar cuyo color no sea mayor a 200 UI (TCCC, 2007).

El proceso de floc-flotación utiliza una combinación de métodos de purificación ampliamente usados en la industria azucarera para la purificación del jugo de azúcar. El proceso elimina el color, turbidez, sabores y olores extraños de un jarabe de azúcar al atrapar las impurezas en un flóculo insoluble de fosfato de calcio e hidróxido de aluminio. El uso de un agente floculante de poliacrilamida y agua carbonatada convierten el floc primario en floc secundario que ayuda a la flotación de las impurezas que se observan como una capa de suciedad en la superficie del jarabe. Después se filtra el jarabe simple para producir jarabe con impurezas reducidas.

Al pasar el jarabe por las columnas de intercambio iónico, se reduce aún más el color del jarabe. Por último se utiliza carbón activado granulado para reducir todavía más las impurezas del olor y sabor, y de esta forma, producir el jarabe de azúcar con la calidad requerida.

Este método se utiliza para tratar azúcar cuyo color esté entre 180 UI y 750 UI, por lo tanto se debe seleccionar para procesar azúcares de baja calidad, cuando los procesos en planta más tradicionales como el tratamiento con carbón activado o intercambio iónico no son capaces de producir el jarabe de azúcar que cumpla con las especificaciones requeridas (TCCC, 2007).

Cuando se utiliza azúcar refino o azúcar refinada de alta calidad, sólo es necesario realizar un proceso de cocción y filtración con ayuda-filtro para obtener la calidad que se necesita para ser usada como ingrediente en las bebidas, donde el color debe estar en 35 UI (TCCC, 2008).

El azúcar que se utilizaría como materia prima para el desarrollo de este proceso, es de muy baja calidad, con un color de 2 700 UI, por lo que se necesita implementar en planta, un proceso previo al mencionado para lograr la calidad requerida.

1.6 Parámetros de calidad del azúcar de caña.

El azúcar crema que se utilizaría para elaborar el jarabe simple empleado para endulzar las bebidas, debe cumplir con los requerimientos establecidos en la norma técnica NORDOM 602 sobre azúcar fortificada con vitamina A, mismos que fueron mencionados en los cuadros 1.6 y 1.7. Además, deben cumplirse con algunos requerimientos establecidos por la planta embotelladora.

El proveedor del azúcar de caña debe estar debidamente autorizado, lo cual significa que éste debe cumplir con los siguientes puntos:

1. Programa de gestión de materias primas.

Este programa debe contener todas las prácticas recomendadas para el manejo y control de la caña de azúcar y otras materias primas empleadas en la elaboración del azúcar crema. Es

importante que exista un plan de trazabilidad para cada una de las materias primas (TCCC, 2014).

2. Compuestos regulados y gestión de contaminantes.

Es necesario que el proveedor maneje un inventario de los compuestos regulados y contaminantes, y que además sepa claramente cómo gestionarlos en caso de que éstos expongan a la materia prima a algún tipo de contaminación.

3. Monitoreo de los procesos y pruebas de producto terminado.

El proveedor debe establecer un programa de monitoreo a lo largo de toda la cadena de producción, de tal forma que todas las variables de control de proceso estén controladas y puedan ser ajustadas lo más pronto posible en caso de desviación. El producto terminado debe ser sometido a todos los análisis de calidad requeridos por la legislación local (TCCC, 2014).

4. Certificado de conformidad y certificado de análisis.

El Certificado de conformidad debe indicar que el azúcar crema cumple con las especificaciones de la embotelladora y con las regulaciones locales. Este debe ser remitido cada vez que se realice una entrega de esta azúcar a la planta de producción.

El Certificado de análisis debe demostrar el cumplimiento a los parámetros indicados en la especificación que corresponda, ya que, debido a la complejidad y diferencias entre cada ingenio, incluso dentro de un mismo país, un grupo de expertos en el tema, dentro de la Compañía, se vio en la necesidad de desarrollar un requerimiento para cada región.

En el caso del azúcar crema disponible para este proyecto, la empresa deberá revisar y definir los valores máximos para al menos los siguientes parámetros como punto de partida:

pesticidas, metales pesados, elementos microbiológicos, olor, sabor, apariencia, color, turbidez, cenizas y pureza (Andrade, 2015).

Al tratarse de una materia prima con una calidad muy inferior a la que normalmente se utiliza en las plantas de manufactura de bebidas, es necesario desarrollar un requerimiento para establecer los análisis trimestrales que se le solicitarían al proveedor.

El Certificado de análisis debe incluir el cumplimiento a la legislación local, en este caso la norma técnica NORDOM 602.

También debe realizarse en un laboratorio aprobado por la empresa, un análisis anual de biocidas y pesticidas de acuerdo a las regulaciones locales e internacionales (TCCC, 2014).

5. Carga y almacenamiento de producto terminado.

El proveedor debe asegurar la calidad, integridad y seguridad del azúcar granular entregada a la planta de producción. Esto significa que el proveedor debe tener programas para control de materia extraña e ingredientes no conformes en los procesos de producción, además de implementar Buenas Prácticas de Manufactura (BPM o Good Manufacturing Practices, GMP por sus siglas en inglés) para prevenir la contaminación, daño y deterioro del azúcar, y también para mantener en condiciones salubres las áreas destinadas al almacenamiento.

Es importante además controlar las condiciones ambientales de temperatura y humedad durante la carga y el almacenamiento (TCCC, 2014).

6. Etiquetado, envasado y vida útil.

El etiquetado y el empaque deben ser aprobados por la legislación nacional y/o internacional de tal forma que sean aptos para ser utilizados en alimentos. El tiempo de vida útil del producto debe ser claramente establecido.

7. Transporte y entrega.

El proveedor debe asegurar de que no exista contaminación del azúcar granular durante el transporte y posterior entrega al consumidor. Los medios de transporte utilizados, deben ser estrictamente inspeccionados antes de cada carga y cumplir con todas las normas de BPM establecidas (TCCC, 2014).

CAPÍTULO 2

PROCESOS DE PURIFICACIÓN

2.1 Parámetros importantes a evaluar en el jarabe de azúcar tratado.

Apariencia, olor y sabor

La apariencia del jarabe de azúcar tratado debe ser lo más cristalina posible, transparente y sin ningún contaminante que cause un aspecto turbio en el producto final. El jarabe no debe tener ningún olor extraño y su sabor debe ser dulce.

Es necesario realizar una prueba de olor en la que una parte de la muestra se acidifica para poder resaltar cualquier posible aroma que no se perciba con facilidad en condiciones normales, por ejemplo, olores medicinales, sulfurosos, entre otros (Castillo, 2007).

Pureza

La pureza se refiere al contenido de sacarosa contenida en el azúcar, como un porcentaje de la sustancia seca o contenido de sólidos disueltos. Los sólidos son constituidos por sacarosa más otros componentes como azúcar invertido, cenizas y colorantes (Sugartech, 2016).

Contenido de Ceniza

La ceniza es un residuo sólido determinado gravimétricamente después de realizar un proceso de incineración en presencia de oxígeno. Normalmente en los procesos de análisis de azúcar, se añade ácido sulfúrico a la muestra, y se toma el residuo de ceniza sulfatada para calentarla a más de 525 °C, el resultado se toma como una medida de los constituyentes inorgánicos. Estas cenizas también se determinan indirectamente por medición de la conductividad eléctrica del producto en solución (Sugartech, 2016).

° Brix

El brix es la medida de los sólidos disueltos presentes en el jugo de azúcar, licor o jarabe, por medio de un equipo llamado refractómetro. Para soluciones que contienen sólo azúcar y agua, el brix se define de la siguiente forma:

$$\text{Brix} = \% \text{ de azúcar en masa} \quad (2.1)$$

En la planta embotelladora no hay una especificación definida, ya que depende del valor solicitado en las instrucciones de mezclado de cada bebida, sin embargo, se acostumbra manejar valores mayores a los 65 °Brix, ya que con un valor menor a este, se podría comprometer la calidad microbiológica del jarabe, pues a mayor cantidad de agua y menor cantidad de azúcar, se genera un medio idóneo para la proliferación de microorganismos (Castillo, 2007).

Cloruros

Normalmente los cloruros provienen del agua que se utiliza para elaborar el jarabe de azúcar, y su presencia depende de las características de la fuente de donde proviene el agua o del tipo de terreno que la rodea. El aumento de los cloruros en el agua podría deberse a que existe escorrentía o lavado de las tierras ocasionado por fuertes lluvias, o en el último de los casos, por exposición a la contaminación con aguas residuales (Castillo, 2007).

Color

Este parámetro se determina mediante la absorción de la luz en condiciones definidas. Generalmente se utiliza un método ICUMSA para realizar el análisis a 420 nm, y la unidad de medida está dada en UI (Unidades ICUMSA).

Los colorantes del azúcar son una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos que provienen de diversas fuentes, las cuáles se pueden clasificar principalmente en dos tipos: los colorantes naturales presentes en la planta de caña y los desarrollados durante el procesamiento del jugo. Para ser removidos, los colorantes presentan principalmente características como su carácter hidrofóbico (no polar) y su cobertura en un amplio rango de pesos moleculares, además, exhiben un comportamiento aniónico (The Purolite Company, 2009).

Cuadro 2.1 Clasificación y pesos moleculares de los colorantes (The Purolite Company, 2009).

Colorantes Naturales			Colorantes desarrollados durante el procesamiento del jugo		
Fenólicos Flavonoides	Melaninas	Clorofilas Xantofilas Caroteno	Melanoidinas Productos de la reacción de Maillard.	Caramelos Degradación de la glucosa y la fructosa en medio ácido.	ADFs ¹ Producto de la degradación alcalina hexosa.

Notas: 1 Alkaline Degradation Products of Fructose.

Los compuestos fenólicos y los flavonoides, son pigmentos presentes en las plantas que representan alrededor de dos terceras partes del color presente en el azúcar crudo o sin procesar. Los fenólicos son generalmente incoloros, pero pueden generar colorantes durante el procesamiento del azúcar al oxidarse o al reaccionar con las aminas o el hierro.

Por otro lado, los flavonoides son polifenoles que existen en la planta de la caña de azúcar y participan en las reacciones de oscurecimiento enzimático. Los pigmentos naturales tienden a tener un peso molecular de bajo a medio, y son altamente ionizados en especial a valores de pH altos (Larrañondo, 1995).

Las melaninas son pigmentos que existen en el reino vegetal, sin embargo, su papel preponderante se destaca en los seres humanos y en los animales.

Las clorofilas, xantofilas y carotenos son los pigmentos encargados de brindarle el color verde, amarillo y amarillo-naranja a las plantas respectivamente. Estos pigmentos participan activamente en el proceso de fotosíntesis, siendo la clorofila el más importante.

Las melanoidinas son producidas durante el proceso del jugo de caña como resultado de las reacciones de Maillard entre los aminoácidos y los azúcares reductores. Éstas se producen con la aplicación de calor a una solución de azúcar con un alto brix y baja pureza, aunque también se pueden formar con un cocimiento lento durante largos periodos. Las melanoidinas están ligeramente cargadas negativamente a un pH neutro, pero cargadas de forma positiva a un pH ácido. Una subdivisión de las melanoidinas es la melanina, producido a partir de reacciones fenol-amina. Estos pigmentos tienen un peso molecular medio y son difíciles de eliminar en el proceso (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Los caramelos se forman como resultado de la degradación térmica de la sacarosa con alto peso molecular, los cuáles aumentan con el tiempo y la temperatura producto del incremento en la polimerización. Los caramelos tienen una ligera carga y no son sensibles al pH.

Los productos de degradación alcalina de la fructosa, ADF por sus siglas en inglés (Alkaline Degradation Products of Fructose), son formadas a partir de la descomposición térmica de la fructosa principalmente, y de la glucosa en menor medida en medio alcalino. Los productos de la reacción tienen un color marrón y son de naturaleza ácida, además conducen a la inversión de la sacarosa y a la formación de más color.

Los mecanismos exactos de la reacción no se tienen muy claros, pero si se conoce que las aminas están involucradas. Estos compuestos usualmente no tienen carga y poseen un peso molecular de medio a alto (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Existen también los precursores del color, que, aunque no son coloreados, participan en reacciones que forman color durante el procesamiento del azúcar, por ejemplo, los aminoácidos, los compuestos fenólicos simples y los HMF (siglas en inglés de 5-Hidroxi-2-Metil Furfural), estos últimos formados a partir de la descomposición ácida de la fructosa.

El grado de ionización de los cuerpos de color no deseados, es crítica en la determinación de la eficiencia de remoción realizada por un proceso en particular. Uno de los factores más importantes que afectan a la ionización es el pH de la solución. El pH del licor afecta además el tamaño y la forma de los polímeros de alto peso molecular e influyen en la eficacia de eliminación del color (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Normalmente el color del jugo de caña recién exprimido se encuentra entre 12 000 UI y 13 500 UI, mismo que en aproximadamente un 95 % queda en las melazas, y el restante 5 % debe ser extraído por métodos fisicoquímicos.

Las micromoléculas generadoras de color provienen del campo, específicamente de partes de la planta de la caña de azúcar como lo son el cogollo, los chulquines, los tallos que no son aptos para la molienda, las raíces y las hojas entre otros. Por esto es importante reducir esta “basura vegetal” desde el momento de la cosecha, ya que de esta forma se reducirá la presencia de compuestos fenólicos que en la planta de la caña son incoloros, pero al oxidarse adquieren una coloración amarillenta o café (Morales, 2015).

El color es uno de los parámetros más importantes a controlar, ya que para la elaboración de bebidas es indispensable contar con un jarabe de azúcar cristalino y transparente que no altere las características propias de cada producto.

Potencial de flóculos

El mecanismo de la formación de flóculos no está muy claro a pesar de que se han realizado muchas investigaciones al respecto, una de las teorías que existe es que se debe al contenido de proteínas residuales de la caña que actúa en el azúcar como precursor de flóculos o precipitados, los cuales aparecen durante el almacenamiento de las bebidas (M. Ruiz, 2013).

Azúcar invertido

El azúcar invertido se da cuando se tiene una mezcla con aproximadamente las mismas partes de glucosa y fructosa (monosacáridos), esto como resultado de la hidrólisis de la sacarosa, conocido también como inversión de la sacarosa (Sugartech, 2016).

pH

Es una medida del nivel de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

La medición del pH recae en una escala logarítmica que va desde 0 a 14, siendo un valor mayor a 7 un pH básico, uno menor a 7 es ácido y un pH 7 es neutro (Castillo, 2007).

Compuestos de amonio cuaternario

Los compuestos de amonio cuaternario pueden tener origen en los biocidas utilizados durante la cosecha de la caña de azúcar. Los biocidas son utilizados para evitar la proliferación de microorganismos que puedan alterar el desarrollo adecuado de la caña (TCCC, 2014).

Hierro

El hierro es uno de los elementos más frecuentes en las rocas y en los suelos agrícolas, por lo que es importante analizar la cantidad presente en el azúcar, misma que pudo haber sido absorbida por la planta de la caña de azúcar desde su cosecha. Un exceso de hierro en el organismo puede causar daño en diferentes órganos, aunque es poco probable que esto ocurra debido a una alta concentración en el azúcar (Larrahondo, 1995).

Sedimento

Los sedimentos son partículas que contaminan los azúcares, son insolubles en agua y están constituidos por sales de calcio (oxalatos, fosfatos, sulfatos) que son precipitadas por distintas causas, por ejemplo, durante el proceso de cristalización, por el polvo proveniente del aire ambiental presente como partículas muy finas, por fragmentos metálicos (óxidos), incrustaciones, partículas orgánicas carbonizadas, remanentes de ayuda filtro o tierra diatomácea, carbón activado, fibras textiles, partículas de pintura y bagazo (Álvarez, 2010).

Dióxido de azufre

El dióxido de azufre se utiliza en el proceso de refinación del azúcar de caña dentro de los ingenios, ya que ayuda a “blanquear” el azúcar. Es necesario monitorear este compuesto en el producto final ya que en exceso podría generar problemas de salud especialmente a personas asmáticas (Gálvez, 2007).

Temperatura

Durante la primera etapa del tratamiento del azúcar, se utilizan altas temperaturas para lograr disolver el azúcar, posteriormente, se debe pasar el jarabe final tratado por un intercambiador de calor para lograr reducir la temperatura al valor requerido. En este caso se requiere un valor aproximado a 20 °C (Castillo, 2007).

Turbidez

La turbidez es un parámetro muy importante al medir la calidad del azúcar, ya que puede influir negativamente en las características sensoriales típicas de los refrescos. La turbidez en el jarabe de azúcar es causada por compuestos como polisacáridos, polifenoles de alto peso molecular encontrados usualmente en pigmentos de plantas, minerales suspendidos (cenizas), cera de caña y otras partes de la planta (Solórzano, 1997).

Metales pesados

El exceso de metales pesados como el arsénico, el cobre y el plomo, puede deberse al uso de fertilizantes químicos y a los agroquímicos durante la cosecha de la caña de azúcar, también puede deberse a una contaminación del suelo con aguas residuales. Los metales pesados producen un efecto negativo a largo plazo sobre la salud (TCCC, 2014).

Parámetros microbiológicos

Los análisis microbiológicos son sumamente importantes para medir y controlar la implementación de las buenas prácticas de manufactura (BPM) relacionadas con la infraestructura, equipos, personal, procedimientos de operación y de saneamiento.

Para el caso del jarabe simple tratado, se monitorearán los siguientes parámetros: recuento total de mesófilos, levaduras, moho, bacterias acidófilas termófilas (TAB, por sus siglas en inglés) y TAB que producen guayacol (Quirós, 2010).

2.2 Operaciones para refinación del azúcar.

El jugo de caña debe ser sometido a diferentes procesos de tratamiento y refinación para poder convertirlo en azúcar apto para el consumo humano, y de manera que además no se afecte la calidad del producto.

Factores como la variedad de la caña, el suelo donde se cultiva, las prácticas de aplicación de fertilizantes y el grado de maduración del cultivo determinan la calidad del azúcar producido.

La calidad también se reconoce en el momento de la molienda por la cantidad de azúcar que se puede recuperar, en otras palabras, por el rendimiento que se obtiene por tonelada de caña molida. Un jugo de excelente calidad depende de características como un alto contenido de sacarosa, bajo contenido de materiales extraños, bajo contenido de sólidos solubles diferentes a la sacarosa y bajos niveles de fibra (Larrahondo, 1995).

En general, las principales características de la caña de buena calidad dependen de factores como los siguientes:

- **Características agronómicas:** buena germinación, desarrollo rápido y adecuado, maduración uniforme, alto tonelaje de azúcar/ha/año y una alta producción.
- **Aspectos morfológicos:** tallos cilíndricos, limpios y largos, alta gravedad especificada, fácil remoción de basuras, fácil de cortar, crecimiento uniforme, de porte recto y de fácil manejo.
- **Calidad de los jugos:** Fibra baja y larga, alta pureza (bajo contenido de almidones, gomas, ceras, azúcares reductores), alto nivel de sacarosa, maduración uniforme, caña limpia, sin daños y caña fresca.
- **Condiciones agroclimáticas:** calidad del suelo (porcentaje de humedad alto, libre de contaminantes, etc.), tipo de clima, buenas prácticas de siembra y cosecha, entre otros (Larrahondo, 1995).

Como se mencionó en el capítulo 1, el jugo de caña desde su extracción es sometido a procesos de molienda, clarificado, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y enfriamiento, con la finalidad de convertirlo en azúcar.

A continuación, se presentan las diferentes operaciones unitarias que son necesarias para refinar el azúcar, de tal forma que se pueda convertir el azúcar crema en jarabe simple tratado, el cual tiene la calidad requerida para ser usada como ingrediente en las bebidas.

2.2.1 Afinación del azúcar

El primer paso que debe seguirse antes de realizar cualquier proceso físico o químico, es mezclar el azúcar granular crudo (sin tratar) previamente con un jarabe de alta pureza, agregando agua y calentando la mezcla para disminuir la viscosidad y facilitar el envío de la masa a la centrifugadora. Este proceso ayuda a que se derrita la capa exterior del cristal de azúcar crudo, donde se concentra la mayor cantidad de color (The Purolite Company, 2009).

En este proceso es muy importante controlar el tiempo de contacto de la mezcla y la temperatura, ya que, si ésta es muy alta, podría oscurecer el color de la masa y complicaría más el proceso de ajuste del color al valor requerido. En este proceso de afinación del azúcar crema, se espera reducir un porcentaje de impurezas entre el 40 % y el 50 %.

2.2.2 Centrifugación

En la filtración centrífuga, los sólidos que forman la torta porosa, en este caso la masa de azúcar, se puede separar de los líquidos al introducir esta masa en una cesta rotatoria que tiene una pared perforada recubierta con un medio filtrante tal como una tela o malla metálica. La presión ejercida por la acción centrífuga hace que el líquido pueda pasar a través del medio filtrante dejando los sólidos retenidos (Warren L. McCabe, 2001).

Una vez que se deja de alimentar la cesta con la masa y se continúa centrifugando durante un corto tiempo, se logra separar la mayor parte del líquido quedando una torta bastante seca, obteniéndose un mejor resultado que en el caso de un filtro prensa o un filtro de vacío.

Dentro de los principales tipos de centrífugas se encuentran las siguientes:

- Centrífugas suspendidas de operación discontinua.
- Centrífugas automáticas de ciclo corto.
- Centrífugas transportadoras de operación continua.

En las centrífugas suspendidas normalmente se utilizan lonas o telas metálicas como medio filtrante; en las centrífugas automáticas se utilizan tamices metálicos finos, y en las centrífugas transportadoras, la pared ranurada de la misma cesta funciona como medio filtrante (Warren L. McCabe, 2001).

2.2.2.1 Centrífugas suspendidas discontinuas

En la figura 2.1 se puede apreciar una centrífuga suspendida discontinua de uso común en la industria. En este tipo de equipos, las cestas perforadas tienen un tamaño entre los 750 mm y los 1 200 mm de diámetro, y una altura entre los 450 mm y los 750 mm. Además, giran a una velocidad entre 600 rpm y 1 800 rpm. La cesta está suspendida en la parte inferior de un eje vertical giratorio que es accionado desde la parte superior. Como se indicó antes, la pared perforada de la cesta está cubierta por una lona o malla metálica. La masa de alimentación entra en la cesta giratoria a través de un tubo o vertedero, y el líquido escurre por el medio filtrante hasta la carcasa para luego salir por una tubería de descarga.

Los sólidos forman una torta en el interior de la cesta con un espesor de 50 mm a 150 mm. A través de los sólidos, se puede rociar líquido de lavado con la finalidad de separar el material soluble, luego se centrifuga a una velocidad de giro mayor que en las etapas de carga y lavado para secar la torta lo más posible. En este punto se desconecta el motor y la cesta disminuye mucho su velocidad hasta llegar a 30 rpm - 50 rpm, se desprende la torta del medio filtrante con una cuchilla rascadora y cae a través de una abertura situada en el fondo de la cesta. Por último, se lava el medio filtrante y se conecta el motor para repetir el ciclo (Warren L. McCabe, 2001).

Para el refinado de azúcar, se utilizan normalmente las centrífugas de recipiente suspendido en la parte superior, donde se realizan ciclos cortos de 2 a 3 minutos por carga que generan hasta 5 ton/hora de cristales. Estas centrífugas con frecuencia son automatizadas para al menos una etapa del ciclo.

En muchos procesos también se utilizan centrífugas automáticas o continuas transportadoras, ya que es necesario separar grandes toneladas de cristales de azúcar. Otro tipo de centrífuga discontinua se acciona desde el fondo, mientras el motor, la cesta y la carcasa están suspendidos por vástagos verticales sostenidos sobre una placa.

Las centrífugas suspendidas normalmente operan con ciclos de 10 a 30 minutos, descargando los sólidos a razón de 300 kg/h a 1 800 kg/h, excepto en el caso del refinado de azúcar como se mencionó antes (Warren L. McCabe, 2001).

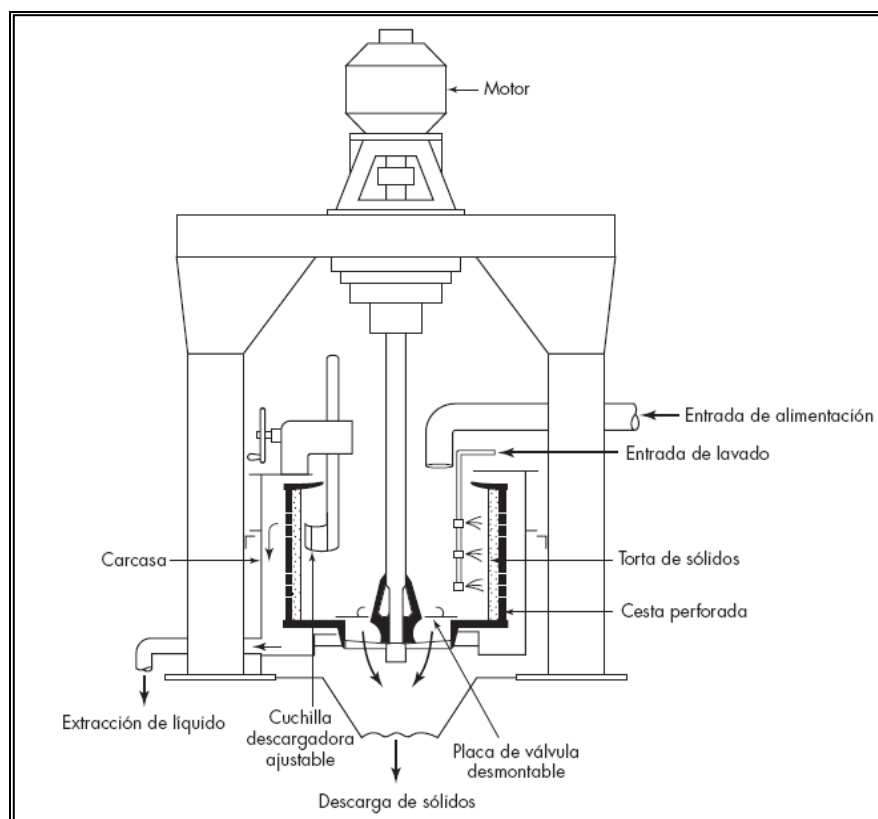


Figura 2.1 Centrífuga de cesta suspendida en la parte superior (Warren L. McCabe, 2001).

2.2.2.2 Centrífugas automáticas de ciclo corto

En estas centrífugas la torta de alimentación y el líquido de lavado de la torta y del medio filtrante se rocían constantemente en intervalos de tiempo definidos, además, la cesta gira con velocidad constante alrededor de un eje horizontal (Warren L. McCabe, 2001).

La cesta se descarga mientras gira a gran velocidad por medio de una cuchilla que asciende periódicamente y desprende los sólidos llevándolos a un conducto de descarga. El diámetro de las cestas ronda entre los 500 mm y los 1 100 mm.

Estas máquinas no se utilizan cuando la alimentación tiene muchas partículas muy finas (150 mallas o menos), sin embargo, tienen una capacidad de producción elevada. Con cristales gruesos, el ciclo puede durar entre 35 s y 90 s.

La corta duración de los ciclos y la poca retención de sólidos de alimentación, filtrado y sólidos descargados, hace que estas centrífugas sean muy efectivas en procesos continuos de manufactura.

Las centrífugas automáticas no son apropiadas para sólidos que drenan con dificultad o que son de difícil descarga, ya que habría que realizar ciclos de larga duración que por lo tanto no son económicos, y que también produce la rotura de los cristales (Warren L. McCabe, 2001).

2.2.2.3 Centrífugas transportadoras de operación continua

Estas centrífugas poseen una cesta rotatoria con la pared ranurada que se alimenta mediante un embudo giratorio, el cual sirve para acelerar de manera suave y progresiva la alimentación.

En la pared de la cesta que está recubierta por una tela o malla metálica, se forma una capa de cristales de 25 mm a 75 mm que se mueve en la superficie filtrante por medio de un impulsor reciprocante. En cada carrera del impulsor, los cristales se van moviendo hacia la parte externa de la cesta hasta pasar a un colector de descarga.

El filtrado y el líquido de lavado que son rociados sobre los cristales, abandonan la carcasa por salidas separadas. La aceleración lenta de la alimentación y la baja velocidad de los sólidos minimizan la rotura de los cristales (Warren L. McCabe, 2001).

Las cestas de estas máquinas tienen un diámetro que varía entre 300 mm y 1 200 mm. Se escurren y lavan de 0,3 ton/h a 25 ton/h de sólidos que no tienen más de 10 % de peso de partículas finas (no más de 100 mallas).

2.2.3 Sulfatación

La sulfitación o sulfatación, se realiza con la finalidad de evitar la producción de compuestos coloreados en procesos subsiguientes, siendo más eficiente cuando se utiliza de esta forma que para eliminar el color ya formado. Este proceso se realiza quemando azufre para producir dióxido de azufre (SO_2) el cual se pone en contacto con el jugo de caña mediante eyectores (Gálvez, 2007).

Posteriormente, el jugo se “pre-encala” con la adición de lechada de cal para evitar la inversión de la sacarosa y se envía a un primer calentamiento para luego realizar una segunda alcalinización.

En muchos ingenios, la sulfitación se ha dejado de utilizar porque aumenta los costos en la producción y promueve el incremento de las incrustaciones en calentadores y evaporadores, además de que se genera un mayor contenido de cenizas en los azúcares sin refinar (Gálvez, 2007).

2.2.4 Clarificación y Flotación

Luego de la sulfatación, el jugo se debe calentar para activar las reacciones entre la cal y los óxidos de fósforo presentes en el jugo, precipitando de esta forma, las impurezas orgánicas e inorgánicas durante la clarificación.

Una vez que el jugo se encuentra dentro del clarificador, se añade un floculante para ayudar a que las impurezas queden retenidas y luego precipiten por acción de la gravedad.

En el proceso de clarificación se eliminan sólidos suspendidos y componentes que pueden tener un efecto adverso a la salud. La clarificación del jugo de caña ocurre por coagulación, floculación y precipitación de las sustancias coloidales y coloreadas que posteriormente se eliminan por decantación y filtración. La floculación se puede llevar a cabo al variar el pH, al utilizar reactivos químicos o por calentamiento (Rivas, 2014).

En el proceso de coagulación, pequeñas partículas se congregan para formar otras de mayor tamaño que luego pueden ser removidas por sedimentación o filtración. La coagulación se da en tres etapas, la formación de los coágulos, la desestabilización de las partículas y la congregación de las partículas, esta última promovida por floculación, que es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos de mayor tamaño.

Normalmente, la sedimentación es el paso siguiente después de la floculación. La sedimentación es un proceso en el que se realiza la separación de sólidos más densos que el jarabe de azúcar y en el que su velocidad de caída hace que puedan llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo razonable, donde posteriormente serán removidos.

Por otro lado, la flotación también se utiliza para separar partículas sólidas de la solución, los líquidos y sólidos que presentan una densidad menor, flotan y se pueden recoger superficialmente, lo cual se logra al introducir burbujas de gas en el jarabe, que a su vez se

adhieren a las partículas sólidas creando aglomerados sólido-burbuja que lleva los sólidos a la superficie del tanque donde son removidos usualmente por barrido. La flotación es muy utilizada para remover partículas muy pequeñas que por sedimentación tardarían mucho tiempo en depositarse (Rivas, 2014).

La sedimentación y la flotación, son operaciones basadas en la gravedad sólido-líquido para reducir la cantidad de sólidos suspendidos que ocasionan una alta turbidez en la solución.

En los ingenios en Brasil es muy común utilizar dos métodos para clarificar: el uso de cal y calentamiento para obtener azúcar crudo, y la sulfatación – defecación (cal y calentamiento) para producir azúcar blanco refinado o azúcar cristal como se le conoce.

Algunos ingenios utilizan también fosfatos para obtener jugos más ligeros con una mayor eliminación de coloides y mejor decantación. Por medio de la fosfatación se eliminan eficazmente los cuerpos de color aniónicos y algunas moléculas de color solubles, las cuales son absorbidas por el precipitado. Este proceso tiene menor capacidad para remover flavonoides en comparación con otros métodos, por lo que es necesario emplearlo en conjunto con carbón activado granular para lograr un mejor resultado (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

El coagulante más usado en Brasil es el sulfato de aluminio, ya que es muy soluble, fácil de almacenar y de transportar, además de ser un producto de alta disponibilidad en el mercado. Es de destacar que se está probando un nuevo coagulante en las plantas de tratamiento de agua en Sao Paulo, el cual fue desarrollado en Japón y está constituido de policloruro de aluminio (APC, por sus siglas en inglés). El APC se destaca sobre otros productos porque promueve la floculación a cualquier pH, es más eficiente en la remoción de coloides que el sulfato de aluminio, disminuyendo el residuo de aluminio en el producto final y reduciendo costos (Patricia Prati, 2010).

Para que se produzca la coagulación, el medio debe ser alcalino, ya sea que el mismo medio proporcione esta condición o que se añadan agentes alcalinizantes como el óxido de calcio (cal viva), hidróxido de calcio (cal apagada), hidróxido de sodio o carbonato de sodio. Una vez que el agente alcalinizante es agregado al jugo de caña, el pH aumenta a un valor entre 7,5 y 8,5 y junto con el efecto de la temperatura forman precipitados que eliminan impurezas.

También se añaden otros productos que contribuyen a aumentar la eficiencia y el rendimiento de la clarificación, ya que hacen más densos los flóculos y facilitan la decantación. Entre estas sustancias se incluyen la arcilla, sílice activada, ácido fosfórico, bentonita, polielectrolitos y óxido de magnesio.

Los polielectrolitos son compuestos orgánicos sintéticos de alto peso molecular que son ampliamente usados como ayudas de proceso en la clarificación. Los polielectrolitos catiónicos son más efectivos que los aniónicos ya que la mayoría de las partículas coloidales del jugo tienen carga negativa. La cantidad ideal de este producto depende de la calidad y características del polímero disponible, aunque generalmente se dosifican entre 1 ppm y 3 ppm (Warren L. McCabe, 2001).

2.2.5 Filtración con carbón activado y filtro ayuda

El carbón activado se utiliza para purificar algunos azúcares que contienen compuestos que pueden afectar adversamente el color, causar olores extraños, variaciones en el sabor y defectos de apariencia en los jarabes y bebidas.

El uso del carbón activado y el filtro ayuda a temperaturas de aproximadamente 80 °C, es un método muy utilizado para descartar estas impurezas, ya que al calentar la solución de jarabe simple el proceso es más efectivo, ayudando a su vez a la eliminación de levaduras, mohos y bacterias. También se disminuye la viscosidad del jarabe, lo que facilita el manejo posterior de la solución.

Para realizar este proceso es necesario calentar agua antes de agregar el azúcar, luego se añade el azúcar y a esta mezcla se le adiciona el carbón y el filtro ayuda, estos últimos dosificados en la misma proporción. Esta solución se cocina durante al menos 15 minutos y luego se pasa a través de un filtro al que previamente se le hizo una pre-capa con filtro ayuda. Se debe tener en cuenta que luego de la filtración, es necesario enfriar a temperatura ambiente el jarabe para lograr un efecto bactericida. La dosificación del carbón usualmente es del 0,25 % al 0,50 % del peso del azúcar a tratar (TCCC, 2008).

El uso de ácido fosfórico para disminuir el pH del jarabe entre 3,5 y 4,5 antes de la filtración, ayuda a incrementar la eficiencia de remoción de color por medio del carbón activado.

Existen numerosos tipos de carbón activado disponibles en el mercado, los cuales varían de acuerdo con el material carbonoso precursor y su tamaño, por ejemplo, carbón, madera, coco, entre otros. Para la decoloración del jugo de azúcar, los tipos más comunes son el carbón activado en polvo o PAC por sus siglas en inglés (Powdered Activated Carbon) y el carbón activado granular o GAC por sus siglas en inglés (Granular Activated Carbon).

Existe también un carbón fabricado a base de huesos de animales terrestres llamado bone char o huesos carbonizados. Estos huesos se someten a pirólisis en ausencia de oxígeno a una temperatura de 700 °C en un horno. El bone char posee una gran área superficial que favorece la adsorción del color y la remoción de cenizas (The Purolite Company, 2009).

2.2.6 Decoloración y Desmineralización con Intercambio iónico

2.2.6.1 Decoloración

En el caso del intercambio iónico, los grupos aniónicos presentes en las moléculas de color son desplazadas por los iones de cloruro que se encuentran en la matriz de la resina. Para

lograr una remoción más completa, se recomienda que el licor de azúcar tenga un pH entre 8 y 9 para que los colorantes estén bastante ionizados.

Las resinas de intercambio iónico utilizadas en la industria azucarera como decolorantes, son del tipo base aniónica fuerte. La matriz de la resina se compone generalmente de uno de los dos tipos de material polimérico: poliestirénica con reticulaciones de divinilbenceno, lo que resulta en una matriz hidrofóbica o poliacrítica con reticulaciones de divinilbenceno, resultando en una matriz hidrofílica (The Purolite Company, 2009).

Algunas refinerías con el fin de lograr una mayor decoloración utilizan un solo tipo de resina, ya sea acrílica o estirénica. Otras emplean una resina acrílica seguida de una estirénica para pulir.

Las resinas acrílicas remueven compuestos coloreados de alto peso molecular, pero tienen una selectividad ligeramente inferior para colorantes de azúcar y a diferencia de las resinas poliestirénicas, pueden ser regeneradas por completo con soluciones de cloruro de sodio, lo cual se puede explicar por el carácter más hidrofílico de la matriz de resina acrílica, incluso los efluentes oscuros regenerados a partir de resinas de estireno se pueden utilizar para regenerar resinas acrílicas.

La utilización de resina acrílica se justifica cuando hay una alta carga de color y un bajo nivel de decoloración puede ser esperado. Un sistema de dos ciclos brinda un nivel de decoloración más constante que cuando se usa un solo ciclo (The Purolite Company, 2009).

Las resinas estirénicas son más propensas a ensuciarse con compuestos orgánicos que las resinas acrílicas y necesitan ocasionalmente una regeneración con ácido, además, su capacidad de decoloración es mayor que la de las resinas acrílicas, pero el color no se remueve de manera tan eficiente durante la regeneración y puede descender rápidamente en caso de sobrecarga.

Las resinas estirénicas tienen un alto poder de decoloración debido a su habilidad para fijar los colorantes, tanto a través de los enlaces iónicos de los grupos iónicos activos o por medio de interacciones hidrofóbicas con la matriz de la resina. Las interacciones hidrofóbicas aumentan con la concentración de sal, lo que explica la dificultad de utilizar soluciones de sal para eliminar colorantes fijados a la matriz de la resina. Las resinas poliestirénicas con una matriz aromática, deberían tener una mayor afinidad por colorantes insaturados que las resinas acrílicas (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Las resinas estirénicas son favorecidas cuando el color de entrada es menor a 800 UI, y las resinas acrílicas cuando el valor es mayor a 800 UI.

Las resinas no eliminan una amplia gama de colorantes en comparación con el carbón activado, pero si eliminan compuestos específicos. Por otro lado, el ensuciamiento de la resina puede ser un problema, pero en general, el proceso es muy seguro y fácil de operar.

Hoy en día, numerosas refinerías utilizan una combinación de ambas resinas, lo que es aconsejable cuando el color de entrada del azúcar es fluctuante (The Purolite Company, 2009).

2.2.6.2 Desmineralización

Por otro lado, la desmineralización es un proceso que se realiza en dos pasos en un intercambio iónico de lecho mixto con el objetivo de remover las cenizas presentes en la solución. Este lecho está compuesto por dos pares de celdas con resinas catiónicas y resinas aniónicas.

En este proceso se pueden remover del 90 % al 95 % de las cenizas y del 70 % al 75 % de los compuestos sólidos conocidos como no azúcares (Mindler, 1948).

La desmineralización por resinas de intercambio iónico es usada en varias etapas durante la manufactura del azúcar. La remoción de las cenizas o desmineralización completa del licor de azúcar de caña es llevada a cabo luego de que este licor ha sido previamente clarificado y decolorizado, de manera que la cantidad de cenizas ya han sido previamente reducidas.

El uso de un lecho mixto de resinas catiónicas débiles y aniónicas fuertes en las formas de hidrógeno e hidróxido respectivamente, reduce la prolongada exposición del azúcar a las condiciones fuertemente ácidas o alcalinas que serían necesarias en el caso de que se utilizaran dos columnas por separado. De esta forma, la destrucción de la sacarosa es minimizada (James G. Brennan, 2012).

2.2.7 Precipitantes y floculantes para remover color

Los precipitantes de color, deben tener tres propiedades básicas para asegurar la efectiva eliminación del color:

- Un centro fuertemente básico (catiónico) que pueda atacar el centro débilmente ácido (aniónico) de las moléculas de color. Este centro básico es normalmente un grupo amino nitrogenado. La precipitación se facilita cuando se incrementa la carga aniónica de la molécula de color.
- Una cadena larga o un hidrocarburo cíclico con frecuencia con un componente ácido graso que es hidrófobo.
- Un equilibrio entre los dos componentes mencionados, de tal forma que el precipitante se dispersa fácilmente en soluciones de azúcar (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Para que el proceso de decoloración se lleve a cabo por el método de fosfatación, deben completarse tres etapas:

- El tensoactivo catiónico reacciona con las moléculas de color aniónico para formar un precipitado insoluble.
- Este precipitado es barrido por el fosfato de calcio para formar un flóculo primario.
- Posteriormente, la adición de un polímero aniónico de poliacrilamida aumenta el tamaño de estos flóculos, formando una floculación secundaria (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Un exceso del precipitante o floculante, puede ocasionar nuevamente la solubilización del precipitado que contiene las moléculas de color, por lo que hay que realizar pruebas periódicas en los ingenios para asegurar la dosis óptima que debe emplearse, que, según estudios, se encuentra en un intervalo entre 200 ppm y 500 ppm, excepto para el Talofloc, donde la remoción de color aumenta al incrementar la dosis de este químico hasta en 2 000 ppm.

Los precipitados formados son muy pequeños como para ser removidos por filtración convencional, por lo que deben usarse métodos como la carbonatación o la fosfatación para retirar este precipitado.

Algunos ejemplos de precipitantes son: Talofloc (utilizado en procesos de fosfatación), Talocarb (utilizado tanto en procesos de fosfatación como de carbonatación), Poliaminas (se cree que con una dosis de 200 ppm se logra reducir el color entre 20 % y 30 %), Talomel (el más caro de los precipitantes, además, no cuenta con la aprobación del FDA) y los floculantes aniónicos, utilizados especialmente durante el proceso de fosfatación. Es importante mencionar que estos precipitantes tienen un alto costo (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

2.2.8 Decolorantes oxidativos

Los decolorantes oxidativos incluyen productos químicos fuertemente oxidantes que pueden ser utilizados para la remoción del color, tales como el peróxido de hidrógeno, el ozono y los hipocloritos.

Los decolorantes oxidativos trabajan para producir radicales libres activos en solución, y estos radicales libres atacan con facilidad los grupos funcionales susceptibles. La naturaleza del radical depende en cierta medida de las características de la solución, en particular del pH. Por ejemplo, el ozono actúa a través de un radical de oxígeno en un medio neutral o ácido, mientras que en un medio alcalino predominan los radicales hidroxilo (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Cada uno de estos radicales pueden actuar mediante diferentes caminos, por lo que se darán diferentes reacciones. El radical de oxígeno no parece atacar a la molécula de sacarosa, mientras que el radical hidroxilo si lo hace.

2.2.8.1 Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) o agua oxigenada como se le conoce, es un producto muy utilizado como agente decolorante de fibras por su alto poder oxidante. En la industria azucarera se utiliza para remover el color, sin embargo, es un método que no ha sido muy explorado.

Aún con los problemas que podría causar el peróxido en la estabilización del pH, es un producto capaz de decolorar las soluciones de azúcar, obteniéndose un producto final de bajo color y estable en el tiempo. Es necesario dosificar el peróxido previo a procesos como la fosfatación y seguido de procesos como el de clarificado y flotación, ya que de no realizarse procesos posteriores podría generar la formación de nuevos colorantes generados por la reacción de los residuales de peróxido con metales. Esta es la razón por la cual muchos creen que el color regresa, pero esto no es así, de acuerdo con algunos expertos (Domingo Antonio Serpa, 2013).

2.2.8.2 Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio, al igual que el peróxido de hidrógeno y el ozono, tiene un efecto blanqueador, destruyendo directamente los compuestos que le dan color al jugo de caña, especialmente a aquellos que se adhieren fácilmente a los cristales de azúcar.

El hipoclorito también ayuda a la destrucción de precursores de color que posteriormente podrían promover la formación de color, además, genera el aumento del carácter iónico de las impurezas para mejorar la remoción del color a través de la carbonatación o la fosfatación.

En algunas plantas de Suramérica, se ha experimentado con una mezcla entre peróxido de hidrógeno y clorito de sodio estabilizado, con el objetivo de crear un compuesto de dióxido de cloro “in situ” para remover de manera más eficiente el color y la turbidez, y mantener también un muy buen control microbiológico (Domingo Antonio Serpa, 2013).

2.2.8.3 Ozono

El ozono se comporta de una manera muy similar al peróxido de hidrógeno, pero su alto potencial de oxidación resulta en un número menor de reacciones reversibles y un gran rango de reacciones de oxidación es posible (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

La velocidad de reacción de los compuestos fenólicos con ozono depende de la naturaleza y el tamaño de los sustituyentes, y aumenta con el número de anillos aromáticos presentes en los cuerpos de color. Sin embargo, es posible que esto no tenga un efecto significativo en los procesos de decoloración del azúcar, donde la mayoría de las velocidades de reacción de ozonificación son probablemente limitadas por procesos de difusión.

Estas reacciones muestran que el ozono no sólo es capaz de destruir directamente el color, sino que también destruye los precursores de color tales como las aminas y los compuestos fenólicos. Sin embargo, algunos de los productos de reacción pueden a su vez generar otras reacciones que forman color más tarde en el proceso, por lo que es conveniente removerlos mediante un proceso de precipitación o filtración.

Es decir, parte de los colorantes que estuvieron presentes en el licor de azúcar, y que fueron destruidos durante la ozonización, son transformados en ácidos orgánicos. Estos ácidos disminuyen el pH del medio acuoso y bajo esta condición la inversión de la sacarosa podría llevarse a cabo. Este es un indeseado efecto en el proceso de remoción del color, por lo que es indispensable que las reacciones ocurran a un pH controlado con una agitación constante (L. A. Fernández, 2006).

El proceso de oxidación también aumenta el carácter iónico, lo que mejora la eficacia de la carbonatación en la remoción de color. Además, en licores con un pH 9, los pigmentos propios de la planta como los flavonoides y los compuestos fenólicos son fuertemente atacados a través de la ozonificación, lo que disminuye sustancialmente el color.

Esto es de gran beneficio en una refinería, ya que la mayor parte del color en el azúcar crudo se origina de pigmentos vegetales, los cuales son los cuerpos de color que más fácilmente se transfieren al cristal. Sin embargo, se debe tener presente que el proceso de ozonificación no es muy efectivo en condiciones neutras o ligeramente ácidas, sólo a un pH por encima de 8,5 (Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa, 2001).

Es conocido que el ozono ataca rápidamente los enlaces carbono-carbono, rompiendo la cadena cuando la reacción se lleva a cabo en medio acuoso, aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos. Por lo tanto, el ozono puede reaccionar con los colorantes del azúcar, destruyéndolos, para así, devolver el color blanco original de la sacarosa (Manuel Gómez, 1980).

Bajo condiciones controladas de temperatura, porcentaje de concentración de la solución (° Brix), y especialmente del pH, se puede decolorar satisfactoriamente el jugo clarificado de azúcar, el azúcar crudo y los siropes concentrados de azúcar con un tratamiento con ozono. El consumo estimado de ozono por tonelada métrica de azúcar refinado producido es de 0,4 kg/ton azúcar (Manuel Gómez, 1980).

A pesar de ser un excelente blanqueador, el empleo del ozono en la industria azucarera no ha tenido mucho éxito debido a los altos costos de inversión, los cuáles son mucho más elevados que los costos de operación, a no ser en refinerías, donde las cantidades necesarias son menores (Jais, 2013).

Se debe tomar en cuenta que el índice IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) o Inmediatamente peligroso para la vida o la salud, es de 5 ppm (v/v) para el caso del ozono, es decir, 20 veces más peligroso que por ejemplo el IDLH del dióxido de azufre (SO_2) que es de 100 ppm (Jais, 2013).

CAPÍTULO 3

PARÁMETROS DE CALIDAD Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

3.1 Parámetros de calidad a controlar en el azúcar de caña

La planta productora de bebidas que recibiría el azúcar granular color crema como materia prima, debe asegurarse de solicitar al proveedor el Certificado de conformidad por cada lote o entrega de producto, como se mencionó en el Capítulo 1, apartado 1.6.

También debe solicitarse de manera trimestral, el Certificado de análisis de cumplimiento de los parámetros citados en los cuadros 1.6 y 1.7 de la norma técnica NORDOM 602 sobre azúcar fortificada con vitamina A, así como los parámetros requeridos por la embotelladora para este tipo de azúcar.

Una vez al año, el proveedor debe realizar un análisis de biocidas y pesticidas, el cual debe ser entregado a la planta (TCCC, 2014).

Una vez recibido un lote o entrega de azúcar en la planta, los especialistas del Laboratorio de Calidad deben realizar las pruebas de recepción descritas en los cuadros 3.1 y 3.2 (TCCC, 2015).

Cuadro 3.1 Pruebas de recepción fisicoquímicas para el azúcar crema.

Parámetro	Especificación
Sabor, apariencia y olor	De acuerdo a los valores definidos por la empresa en conjunto con el proveedor.
Olor después de la acidificación	
Pérdida en el secado	
Sedimento	

Cuadro 3.2 Pruebas de recepción microbiológicas para el azúcar crema.

Parámetro	Especificación
Recuento total de mesófilos	De acuerdo a los valores definidos por la empresa en conjunto con el proveedor.
Levadura y moho	
Bacterias acidófilas termófilas (TAB, por sus siglas en inglés).	
TAB que producen guayacol	

Todos los lotes de materia prima entregados a la Planta, deben cumplir con las especificaciones solicitadas, de lo contrario, habría que revisar el número de parámetros que se encuentren fuera de norma y si es posible realizar algún plan de acción correctivo antes de rechazar el producto (TCCC, 2015).

3.2 Parámetros de calidad a controlar en el jarabe de azúcar

El azúcar crema se convierte en jarabe simple tratado, mediante la implementación de procesos de clarificado que tienen el objetivo de que el jarabe utilizado como ingrediente en las bebidas, cumpla con todas las especificaciones requeridas.

Al realizar el proceso de clarificado en la planta, se deben cumplir con los estándares solicitados por la embotelladora sobre la calidad del agua que se va a emplear. En el cuadro 3.3 se pueden ver los parámetros que deben ser monitoreados diariamente en el agua (TCCC, 2011).

Cuadro 3.3 Análisis de monitoreo diario (cada 4 horas) del agua.

Parámetro	Especificación
Apariencia	Sin color visible
Olor	Sin olor
Sabor	Sin sabor
Alcalinidad	85 mg/L máximo como CaCO_3
Cloro y otros desinfectantes	0,0 mg/L
pH	4,9 mínimo
Sólidos Totales Disueltos (STD)	500 mg/L máximo
Turbidez	0,3 NTU máximo

Estos análisis diarios deben realizarse en el Laboratorio de Calidad de la empresa, y deben realizarse cada cuatro horas como mínimo. También debe realizarse una vez al día un análisis de aluminio cuyo valor máximo permitido es 0,2 mg/L.

En cuanto a los análisis microbiológicos, una vez a la semana se deben muestrear los parámetros mencionados en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4 Análisis microbiológico de monitoreo semanal del agua.

Parámetro	Especificación
Coliformes	Menor a 1 CFU por cada 100 mL
E.coli	Menor a 1 CFU por cada 100 mL
Cuenta total de mesofílicos	Menor a 25 CFU/1 mL

Nota: CFU = Unidades Formadoras de Colonias.

Además, es necesario que, en un laboratorio externo, se le realicen al agua una serie de análisis anuales que incluyen elementos orgánicos e inorgánicos, pesticidas, desinfectantes y los respectivos sub-productos de desinfección, así como análisis de radionucleidos cada tres años.

El agua debe cumplir con los requerimientos de la legislación local y con los establecidos por la empresa, asimismo, se deben guardar los respectivos registros (TCCC, 2011).

En cuanto a los parámetros del jarabe simple tratado, antes de que éste sea utilizado como ingrediente en las bebidas, debe cumplir con las especificaciones indicadas en los cuadros 3.5, 3.6 y 3.7.

Los análisis deben ser realizados trimestralmente, excepto en el caso de los metales pesados, que podrían omitirse si éstos fueron efectuados en el azúcar de caña color crema sin procesar, y cumplieron las especificaciones de la empresa (TCCC, 2014).

Cualquier otro parámetro en el que la planta desee ampliar la frecuencia de monitoreo, debe basarse en el cumplimiento de los resultados históricos y la aprobación de la embotelladora.

Cuadro 3.5 Parámetros de análisis trimestral requeridos para el jarabe simple.

Parámetro	Especificación
Apariencia	Transparente y sin turbidez.
Olor	Sin olor anómalo.
Olor después de la acidificación	Sin olor anómalo.
Sabor	Normalmente dulce sin sabores extraños.
Análisis (pureza)	99,9 % mínimo, calculado como 100 % sacarosa menos ceniza.
Ceniza	0,05 % porcentaje en peso (conductividad) máximo.
Brix	De acuerdo a las instrucciones de mezclado de cada producto.
Cloruro	Máximo 180 mg/kg (base seca)
Color	Menor o igual a 35 unidades ICUMSA (UI).
Potencial de flóculos	Sin formación de flóculos presentes.
Azúcar invertido	0,5 % porcentaje en peso máximo (base seca).
Hierro	1 mg/kg máximo (base seca).
pH	5,0 – 8,6
Compuestos de amonio cuaternario	2 mg/kg (base seca) máximo en azúcar refinada por cualquier proceso que utilice compuestos de amonio cuaternario.
Sedimento	7 mg/kg (base seca) máximo de insolubles gravimétricos.
Dióxido de azufre	6,0 mg/kg (base seca) máximo.
Temperatura	Acuerdo contractual
Turbidez	No más de 20 unidades ICUMSA (UI).

Cuadro 3.6 Metales pesados de análisis trimestral requeridos para el jarabe simple.

Parámetro	Especificación
Arsénico (As)	0,1 mg/kg máximo (base seca)
Cobre (Cu)	1 mg/kg máximo (base seca)
Plomo (Pb)	0,1 mg/kg máximo (base seca)

Cuadro 3.7 Parámetros microbiológicos de análisis trimestral requeridos para el jarabe simple.

Parámetro	Especificación
Recuento total de mesófilos	No más de 200 cfu/10 g de azúcar seca o volumen equivalente conteniendo 10 g de azúcar cuando se toma una muestra líquida.
Levadura	No más de 10 cfu/10 g de azúcar seca o volumen equivalente conteniendo 10 g de azúcar cuando se toma una muestra líquida.

Continuación Cuadro 3.7 Parámetros microbiológicos de análisis trimestral requeridos para el jarabe simple.

Parámetro	Especificación
Moho	No más de 10 cfu/10 g de azúcar seca o volumen equivalente conteniendo 10 g de azúcar cuando se toma una muestra líquida.
Bacterias acidófilas termófilas (TAB por sus siglas en inglés)	No más de 1000 cfu/50 g de azúcar seca o volumen equivalente conteniendo 10 g de azúcar cuando se toma una muestra líquida.
TAB que producen guayacol	Ausente en 50 g de azúcar seca o volumen equivalente conteniendo 10 g de azúcar cuando se toma una muestra líquida.

Es muy importante que las condiciones de las instalaciones, equipos, personal y procedimientos, se desarrollen implementando Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y cumplan con todos los requerimientos legales y de la embotelladora.

El personal que se especialice en el proceso de elaboración del jarabe simple, debe estar debidamente capacitado en los temas técnicos, en normas de calidad e inocuidad de alimentos, así como en medio ambiente, seguridad y salud ocupacional (TCCC, 2014).

3.3 Capacidad de producción

El tratamiento escogido para clarificar el azúcar crema debe tener la capacidad de cumplir con la demanda de jarabe de azúcar necesaria para elaborar los diferentes tipos de bebidas manufacturadas en la planta de producción.

Las personas encargadas de realizar la logística y la planificación de la producción tanto en la planta de producción como en las oficinas centrales de la Multinacional de bebidas, realizaron la proyección del consumo de azúcar crema necesaria para los próximos 5 años.

Esta proyección se basa en el crecimiento estimado de ventas y en el porcentaje de azúcar existente en cada producto según su instrucción de mezclado. En el cuadro 3.8 se pueden

apreciar los cálculos del consumo esperado de azúcar crema y su crecimiento en comparación con el año anterior.

Cuadro 3.8 Proyección del consumo de azúcar crema en los próximos 5 años.

Unidad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ton/año	33 436	36 823	39 813	42 711	45 321
Ton/día	92	101	109	117	124
kg/día	92 000	101 000	109 000	117 000	124 000
% de crecimiento versus aa	12,40	10,13	8,12	7,28	6,11

Nota: aa = año anterior.

Este consumo en toneladas métricas se puede observar por año y por día, así como los kilogramos diarios, considerando que la planta de producción produce las 24 horas del día, los 7 días de la semana. La proyección está calculada para los próximos 5 años, tomando en cuenta el porcentaje de crecimiento esperado con respecto al año anterior.

Para calcular el jarabe simple tratado que se generaría con el consumo de azúcar crema proyectado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Kg \text{ de azúcar} \times ^\circ Brix \times Densidad \text{ del azúcar} = Litros \text{ de jarabe} \quad (3.1)$$

En este caso, la densidad del jarabe se obtiene de una tabla de valores de densidades para soluciones de sacarosa a 20 °C y a diferentes grados Brix, correspondiente al Método SPS-4 ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis). Esta tabla es la que se usa de referencia en la Planta de producción.

Para la manufactura de bebidas, se requiere obtener un jarabe simple con 65 °Brix y una temperatura de 20 °C, por lo que la densidad, bajo estas condiciones, según dicha tabla sería 1,31555 kg/L. Sustituyendo estos valores en la fórmula (3.1), se tiene que:

$$Kg \text{ de azúcar} \times \frac{100 \text{ Kg jarabe}}{65 \text{ Kg azúcar}} \times \frac{1 \text{ Litro jarabe}}{1,31555 \text{ Kg jarabe}} = \text{Litros de jarabe} \quad (3.2)$$

En el cuadro 3.9 se puede observar la proyección del jarabe simple tratado luego de aplicar la fórmula 3.2 en los valores de kilogramos diarios de azúcar crema mostrados en el cuadro anterior.

Cuadro 3.9 Proyección del consumo de jarabe simple tratado a 65 °Brix en los próximos 5 años.

Unidad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Litros/día	107 589	118 114	127 469	136 825	145 011
% de crecimiento versus aa	12,40	10,13	8,12	7,28	6,11

Nota: aa = año anterior.

Durante el proceso de clarificado, se espera que se den pérdidas de azúcar a lo largo de cada una de las etapas, las cuáles dependerán de la calidad del azúcar, los parámetros requeridos en el producto final, la recuperación del azúcar mediante arrastres realizados durante el proceso y la manipulación adecuada de los equipos cuando están en operación o cuando están en regeneración, como sería el caso de las resinas de las columnas de intercambio iónico.

Según el criterio de expertos en el tema, se estima que por cada 1 000 kg de azúcar crema se podrían producir alrededor de 940 kg de jarabe simple, es decir, se perdería un 6 % del azúcar entre subproductos que son descartados y las pérdidas propias del proceso como se mencionó anteriormente.

Tomando en cuenta este porcentaje de pérdida, se obtiene finalmente la cantidad de jarabe simple que se produciría en la Planta de manufactura de refrescos.

Cuadro 3.10 Proyección del consumo de jarabe simple tratado a 65 °Brix en los próximos 5 años, considerando las pérdidas estimadas.

Unidad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Litros/día	101 133	111 027	119 821	128 615	136 310
Litros/minuto	70	77	83	89	95
Litros/minuto (+16 % de crecimiento)	81	89	97	104	110

De esta forma se tiene que para el año 5 se necesitan producir como mínimo 95 L/min de jarabe simple tratado. Para el diseño del proceso de tratamiento propuesto, se tomará como base un flujo de 110 L/min de jarabe simple, lo cual significa un 16 % más de lo obtenido en los cálculos, esto como un factor de seguridad, según la recomendación de los expertos, ya que el crecimiento en el consumo podría aumentar entre un 14 % y un 18 %, a pesar de las proyecciones realizadas. En este caso se elige un valor medio de crecimiento adicional del 16 %.

CAPÍTULO 4

SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

En el cuadro 4.1 se pueden apreciar las características promedio disponibles del azúcar crema que se utilizará como materia prima, así como los valores requeridos para el jarabe simple tratado que se desea producir, datos proporcionados por la embotelladora.

Cuadro 4.1 Características promedio del azúcar crema y valores requeridos por la Compañía para el jarabe de azúcar procesado (TCCC, 2014).

Parámetro	Valor real del azúcar crema	Valor requerido para el jarabe simple tratado
Pureza	99,30 %	99,9%
Polarización	99,00 %	---
Humedad	0,230 %	---
Ceniza	0,122 %	0,05 % máximo
Azúcar Invertido	0,280 %	0,5 % máximo
Color	2 700 UI	35 UI

Como se puede observar, el valor de pureza del azúcar crema es bastante alto y cercano al valor requerido, por otro lado, no existe una especificación para el porcentaje de la polarización y la humedad necesario en el jarabe simple tratado.

El valor del azúcar invertido en el caso del azúcar crema se encuentra dentro de la especificación requerida, mientras que el porcentaje de la ceniza y el valor del color, son los que presentan mayor desviación con respecto al requerimiento.

Especialmente el color presenta una desviación sumamente importante, por lo que la selección de la tecnología necesaria para lograr obtener el jarabe simple tratado que se requiere, debe enfocarse en el cumplimiento de este parámetro.

Con base en el criterio de los expertos y en lo estudiado en los capítulos previos, especialmente en el capítulo 2 donde se analizaron con detalle los diferentes procesos de purificación de azúcar más comúnmente utilizados en la industria, se seleccionan el proceso y las condiciones para el tratamiento del azúcar crema con el fin de obtener el jarabe simple deseado. Dicho proceso se llevaría a cabo en el siguiente orden:

1. Mezclado y Afinado.
2. Centrifugado.
3. Disolución.
4. Clarificación y Flotación.
5. Filtración.
6. Decoloración y Desmineralización con Intercambio iónico.
7. Deodorizado y Pulimento.
8. Enfriamiento.
9. Almacenamiento.
10. Automatización del proceso.

A continuación se describirán cada una de las etapas seleccionadas.

1. Mezclado y Afinado

El primer paso para eliminar impurezas es realizar una mezcla del azúcar crema con un jarabe de alta pureza, aproximadamente a 75 °Brix, fabricado previamente con esta misma azúcar y con el residuo de aguas dulces que provienen del proceso de centrifugación. En esta etapa se espera reducir un 50 % de las impurezas aproximadamente, por lo que se elige como primer paso del tratamiento del azúcar crema.

El jarabe de alta pureza se envía a un mezclador donde se disolvería con el azúcar crema granular que vendría de una tolva y se dosificaría por medio de un tornillo sinfín. Debe

mantenerse una agitación constante y una temperatura aproximada a 60 °C para reducir la viscosidad y facilitar el envío a la centrífuga. Es importante mantener el pH de la solución por encima de 7 para evitar la inversión de la sacarosa, por lo que se puede añadir cal (hidróxido de calcio) en caso de necesitarse. Además, la mezcla debe quedar homogénea para lograr la consistencia requerida.

2. Centrifugado

La masa o el magma procedente de la etapa de afinado, se pasa a una centrifugadora discontinua de alta velocidad. De esta forma, la separación de la melaza de los cristales se realizaría por ciclos cortos y rápidos.

En el cuadro 4.2 se resumen las etapas que normalmente se llevan a cabo en este tipo de centrífugas.

Cuadro 4.2 Etapas llevadas a cabo en la centrífuga discontinua de alta velocidad (BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, 2019).

Etapas	Descripción
Alimentación	La masa de alimentación se dosifica en la centrífuga a una velocidad máxima de 1800 rpm (BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, 2019).
Primer desalojo	En esta etapa se retira gran parte de la miel que recubre el cristal de azúcar por acción centrífuga.
Primer lavado	Aquí se adiciona agua caliente para lavar el cristal.
Segundo desalojo	Se desalojan los restos de miel y el agua dulce que se utilizó para realizar el lavado.
Segundo lavado	Este lavado se realiza hasta que se haya removido la cantidad de color requerida. En esta etapa inicia la desaceleración de la centrífuga.
Cambiamiel	Se retira la miel que está en la parte intermedia del canasto de la centrífuga.

Continuación Cuadro 4.2 Etapas llevadas a cabo en la centrífuga (BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, 2019).

Etapas	Descripción
Secado	La centrífuga se mantiene en aceleración mientras se disminuye la humedad de los cristales de azúcar.
Descarga	El azúcar ya centrifugado y separado de la melaza, se lleva a la siguiente etapa del proceso.
Lavado de mallas	Terminada la centrifugación, las mallas son lavadas para eliminar cualquier resto de miel u otras impurezas.

La melaza que es separada de los cristales de azúcar, se almacenaría en un tanque donde se le realizarían pruebas físico-químicas para determinar su calidad, posteriormente, se entregaría al proveedor del azúcar crema para su manejo fuera de la planta.

3. Disolución

El azúcar separado de la melaza se envía a un disolutor mediante un tornillo sinfín, aquí se le añade agua tratada caliente, así como aguas dulces recuperadas de diferentes partes del proceso como el lavado de lodos. Se ajusta la solución a 65 °Brix y la temperatura se mantiene en 80 °C, para lo cual es necesario incorporar un intercambiador de calor y recircular el producto. Este proceso es necesario para mantener el brix y la temperatura constantes antes de iniciar el proceso de clarificación y flotación.

4. Clarificación y Flotación

Los procesos de clarificación y flotación son operaciones muy utilizadas en la industria para remover sólidos en suspensión que causan turbidez, más aún si se utilizan en conjunto, tal y como se mencionó en el capítulo 2, por lo que se escogen como parte del tratamiento del azúcar crema.

Para llevar a cabo la primera etapa del clarificado, llamada primera floculación, se realizaría un tratamiento químico con ácido fosfórico, cal, antiespumante, sulfato de aluminio y carbón activado, de acuerdo a los requerimientos de la empresa y por recomendación de los expertos. Estos reactivos se añaden al licor de azúcar y se dejarían reaccionar hasta que comience la formación de los flóculos. En este punto, el jarabe debe estar en 65 °Brix, de no ser así, se debe ajustar.

Antes de iniciar el proceso de flotación (segunda floculación), se deben preparar el polímero y el agua carbonatada; ésta última se lleva a cabo en un carbonatador donde se realiza un proceso de enfriamiento y recirculación del agua tratada antes de añadir el CO₂. El agua se debe enfriar hasta llegar a una temperatura menor a 1 °C (Andrade, 2015). Luego, se agrega esta agua carbonatada al jarabe que se encuentra en el tanque de flotación, y al que se le añadiría previamente el polímero preparado.

Antes de añadir los reactivos al jarabe contenido dentro del tanque de flotación, éste debe ser sometido a un calentamiento por medio de un intercambiador de calor hasta llegar a una temperatura aproximada de 82 °C, según la recomendación de los expertos dentro de la embotelladora.

Una vez añadida la mezcla de polímero y agua carbonatada al jarabe, se debe agitar la solución y posteriormente dejarla en reposo. El tanque deberá tener varias toma-muestras a distintas alturas para verificar el avance del proceso.

Por último, se retiran las partículas flotantes y se realiza el trasiego del jarabe clarificado por la parte inferior del tanque de flotación para enviarlo a un tanque buffer. Los lodos retirados se enviarían a un tanque de acumulación de lodos para su posterior deshidratación mediante un filtro rotatorio o un filtro prensa.

5. Filtración

El jarabe pasa a la etapa de filtración con pre-capa de diatomita en un filtro discontinuo. Con este proceso se pretende la remoción de los flóculos que no llegaron a flotar, así como las partículas que afectan negativamente el color, y que causan olores extraños y variaciones en el sabor. La filtración se realiza a una temperatura de 80 °C.

Primeramente, se necesita preparar el carbón activado para luego añadir la ayuda filtro, ambos dosificados en la misma proporción. Una vez lista la solución, se envía a un tanque de deodorización donde se encuentra el jarabe y se mantiene una agitación constante.

Se pasa el jarabe por un filtro discontinuo de pre-capa para retirar las partículas de carbón activado. Luego de esto, se toman muestras del jarabe hasta que se obtiene el color esperado, alrededor de 500 UI.

6. Decoloración y Desmineralización con Intercambio iónico

En el capítulo 2 se analizaron diferentes alternativas para remover el color del azúcar de caña de baja calidad o azúcar crema, para obtener el color requerido para el jarabe simple tratado. En el siguiente cuadro se resumen las ventajas y desventajas de cada una de estas tecnologías, de acuerdo a criterios técnicos, económicos y de seguridad.

Cuadro 4.3 Ventajas y desventajas de las tecnologías para remoción de color.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Intercambio iónico (decoloración y desmineralización)	<ul style="list-style-type: none"> - Es un proceso ampliamente conocido y utilizado en las refinerías de azúcar. - La operación es fácil y segura. - La decoloración y la desmineralización utilizadas en conjunto, proporcionan una muy buena solución para la remoción de color y cenizas. 	<ul style="list-style-type: none"> - El proceso ameritaría utilizar dos tipos de resina, acrílica y poliestirénica, lo que implica un mayor cuidado durante la regeneración. - Se elevan los costos de operación por la regeneración de las resinas, ya que estas se ensucian con facilidad.

Continuación Cuadro 4.3 Ventajas y desventajas de las tecnologías para remoción de color.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Precipitantes y floculantes	<ul style="list-style-type: none"> - Son bastante usados en la industria y de fácil aplicación. - Necesariamente deben ser sucedidos por carbonatación o fosfatación para remover los precipitados y/o flóculos generados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es necesario conocer la dosificación exacta, de lo contrario, el precipitado que contiene las moléculas del color podría solubilizarse. - Los precipitantes y los floculantes tienen un alto costo.
Filtración con carbón activado y filtro-ayuda	<ul style="list-style-type: none"> - Este proceso es ampliamente utilizado para remover color y eliminar olores extraños, variaciones en el sabor y defectos de apariencia en el azúcar. 	<ul style="list-style-type: none"> - En la manufactura de bebidas, normalmente se utiliza para purificar azúcares con un color igual o menor a 200 UI, por lo que en este caso tendría que utilizarse como complemento con otro tratamiento.
Peróxido de hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede obtener un producto de bajo color y estable con el tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> - El peróxido podría ocasionar inestabilidad en el pH. - Posible generación de nuevos colorantes por la reacción entre los residuales de peróxido y los metales.
Hipoclorito de sodio	<ul style="list-style-type: none"> - Destruye los compuestos que dan color al jugo de azúcar, en especial a los que se adhieren a los cristales. - Ayuda a la destrucción de los precursores del color que podrían promover la formación del color en etapas posteriores del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Algunos productos de reacción pueden generar otras reacciones que más tarde en el proceso forman color.
Ozono	<ul style="list-style-type: none"> - Su alto poder oxidativo produce un menor número de reacciones reversibles en comparación con el peróxido de hidrógeno. - Destruye los precursores del color como las aminas y los compuestos fenólicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altos costos de inversión. - Algunos productos de la reacción pueden generar otras reacciones que más tarde en el proceso forman color. - La ozonificación no es muy efectiva en condiciones neutras o ligeramente ácidas, solo a pH mayor a 8,5 por lo que se requiere un control muy preciso del pH.

Continuación Cuadro 4.3 Ventajas y desventajas de las tecnologías para remoción de color.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Ozono	<ul style="list-style-type: none"> - La ozonificación puede ser muy eficiente en el ataque de los flavonoides y fenólicos, compuestos propios de la planta que propician la formación del color. - Bajo condiciones controladas de temperatura, grados Brix y pH, se puede lograr una decoloración satisfactoria. 	<ul style="list-style-type: none"> - El índice inmediatamente peligroso para la salud (IDLH, por sus siglas en inglés) es de 5 ppm, lo cual se considera muy alto en comparación con otros compuestos.

Además del análisis realizado en el capítulo 2 y el resumen de las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías para remoción del color presentados en el cuadro 4.3, se confeccionó una herramienta de selección que consiste en un cuadro comparativo donde se le asigna una calificación a cada una de las alternativas de tratamiento mencionadas de acuerdo a la característica que se esté evaluando.

Como primer paso, se definieron 5 parámetros en los que se estaría evaluando cada tecnología:

1. Costo de la tecnología.
2. Costos de operación.
3. Productos y subproductos asociados a la operación.
4. Complejidad de la operación.
5. Seguridad de la operación.

A continuación, se hará una explicación breve de cada uno de los parámetros:

Costo de la tecnología

Para poder asignar una calificación a cada una de las propuestas, se considera el criterio de los expertos tanto de la embotelladora como del corporativo, así como la información analizada y resumida en el cuadro 4.3. En general, todas las alternativas de tratamiento propuestas para este proyecto deben ser importadas, lo que implica que el costo sea mayor en comparación a tener la opción de obtenerlas localmente, sin embargo, este aspecto ya está contemplado previamente por las partes implicadas en el proyecto.

La tecnología de mayor costo en este caso es la que utiliza ozono, por consiguiente, tendrá una menor calificación, las otras opciones propuestas tienen un menor costo y, por lo tanto, tendrán una mejor calificación.

Costo de operación

Con respecto a los costos de operación, el objetivo es comparar los costos que cada una de las tecnologías representaría si se fuera a implementar. Se toman en cuenta aspectos como el gasto en reactivos, gastos en servicios como agua, electricidad, vapor y aire comprimido, frecuencia de saneamientos y labores de mantenimiento entre otros. En este caso, las tecnologías que utilizan intercambio iónico, uso de precipitantes y floculantes, así como la filtración con carbón activado y filtro ayuda, son las más costosas.

El intercambio iónico, implica la constante regeneración de las resinas con el consecuente gasto de reactivos, vapor y agua, además, las resinas deben sustituirse cuando llegan al final de su vida útil. De igual forma, la filtración con carbón activado y filtro ayuda requiere de una periódica regeneración y sustitución del carbón activado y el filtro ayuda cuando sea necesario.

En el caso de los precipitantes y floculantes, estos tienen un costo muy elevado. Las tecnologías propuestas con peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio y ozono, tienen un costo menor en comparación con las ya mencionadas.

Productos y subproductos asociados a la operación

En este rubro se evalúa si con la tecnología propuesta se logra el producto deseado, es decir, una remoción considerable del color del azúcar crema, además, si se generan subproductos que deban ser tratados con otros procesos antes de desecharlos o aprovecharlos.

En este caso, el producto obtenido con el uso del intercambio iónico y el ozono es el deseado, por lo que se convierten en las mejores opciones de tratamiento, pese a que con el intercambio iónico se generan como subproducto las resinas de desecho cuando llegan al final de su vida útil, aproximadamente cada 5 años o más.

Con el empleo de los precipitantes y floculantes, así como con el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio, se obtienen buenos resultados, pero no como en los casos mencionados. El uso de los precipitantes y floculantes, implica la generación de un subproducto de desecho en el que debe emplearse un proceso posterior de carbonatación o fosfatación para removerlo.

Para el caso de la filtración con carbón activado y filtro ayuda, se obtiene un producto de menor calidad, puesto que esta tecnología se utiliza normalmente para purificar azúcar con un color de 200 UI como máximo, por lo que habría que complementarla con otro tratamiento. Periódicamente debe cambiarse el carbón activado y el filtro ayuda, lo cual genera un subproducto que debe ser analizado antes de desecharlo para saber si se necesita algún tratamiento previo.

En todas las tecnologías propuestas se generan aguas de desecho como subproducto generado de las labores de saneamiento. Estas aguas deberán ser tratadas antes de ser descartadas o reutilizadas.

Complejidad de la operación

En este punto se evalúa la complejidad de operar los equipos, la capacitación requerida para los operarios, el mantenimiento que necesita cada equipo, así como el control que requiere cada tecnología por parte de un operario capacitado.

En este caso, la tecnología más simple y en la que la embotelladora tiene mayor conocimiento es en la filtración con carbón activado y filtro ayuda, por lo que el puntaje será mayor en comparación con el resto de las propuestas. El empleo del intercambiador iónico es similar al anterior, sin embargo, requiere de mayor cuidado cuando se realiza el proceso de regeneración, ya que contiene una resina acrílica y una resina poliestirénica. El uso de los precipitantes y floculantes es relativamente simple, siempre y cuando se conozca con exactitud las cantidades que deben emplearse para obtener los resultados deseados.

Las tecnologías más complejas por que requieren de mayor capacitación por parte de los operarios de proceso y de mantenimiento, son las que utilizan peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio y ozono.

Seguridad de la operación

En este parámetro se evalúa si los equipos son seguros o deben tenerse cuidados especiales en su operación diaria, o si tienen alguna condición que pueda llegar a perjudicar la salud de los operarios o algún potencial para provocar un accidente. La tecnología más segura, recibe mayor puntaje.

En general, todas las tecnologías propuestas son bastante seguras, aunque siempre existe un potencial de accidente porque requieren de la manipulación de productos químicos, vapor, electricidad, equipos que pueden fallar, etc., pero con la implementación de un plan de

mantenimiento preventivo y capacitación continua, se puede minimizar el riesgo significativamente.

La tecnología con ozono es la que presenta un mayor riesgo para la salud de los operarios, ya que el índice inmediatamente peligroso para la salud (IDLH, por sus siglas en inglés) se considera muy alto en comparación con otros compuestos, por lo que requiere de cuidados especiales en su operación diaria.

A cada uno de estos parámetros se les asignó un porcentaje de importancia de acuerdo con el criterio de los expertos tanto en la embotelladora de bebidas como en el corporativo, y tomando en consideración, toda la información analizada en el capítulo 2 y el cuadro 4.3. En el cuadro 4.4 se muestra la calificación asignada a cada parámetro:

Cuadro 4.4 Importancia de cada uno de los parámetros de selección.

Parámetros	Porcentaje (%)
Costo de la tecnología	15
Costo de la operación	20
Productos y subproductos asociados a la operación	35
Complejidad de la operación	10
Seguridad de la operación	20
Total	100

Como se puede apreciar, el rubro de *productos y subproductos asociados a la operación* recibió la calificación más alta, por lo que se considera el de mayor importancia y el más determinante para la selección de una las tecnologías propuestas. El *costo de la operación* y la *seguridad de la operación* ocupan el segundo lugar en importancia, seguido por el *costo de la tecnología* y la *complejidad de la operación*, este último con la puntuación más baja.

Una vez definida la importancia de cada parámetro, se define una escala para evaluar cada tecnología dependiendo de la capacidad de cada una de ellas para adecuarse a cada requerimiento. El valor asignado se multiplica por el porcentaje de importancia dado a cada parámetro y posteriormente se suman los valores obtenidos. La tecnología con mayor puntuación será la elegida.

Para la evaluación de los parámetros se utilizará una escala definida entre 0 y 3, donde 0 corresponde a “no califica”, 1 a “califica con deficiencias”, 2 a “califica de forma aceptable” y 3 a “califica como la mejor opción, siendo 3 el mejor puntaje y 0 el más bajo.

En los cuadros 4.5, 4.6 y 4.7 se puede observar la calificación asignada a cada una de las tecnologías propuestas.

Cuadro 4.5 Calificación de las tecnologías de intercambio iónico y adición de precipitantes y floculantes.

Parámetros	Intercambio iónico			Precipitantes y floculantes		
	Puntaje	%	Total	Puntaje	%	Total
Costo de la tecnología	2	15	0,30	2	15	0,30
Costo de la operación	1	20	0,20	1	20	0,20
Productos y subproductos asociados a la operación	3	35	1,05	2	35	0,70
Complejidad de la operación	2	10	0,20	2	10	0,20
Seguridad de la operación	2	20	0,40	2	20	0,40
Total			2,15			1,80

Cuadro 4.6 Calificación de las tecnologías de filtración con carbón activado y filtro ayuda y adición de peróxido de hidrógeno.

Parámetros	Carbón activado y filtro ayuda			Peróxido de hidrógeno		
	Puntaje	%	Total	Puntaje	%	Total
Costo de la tecnología	2	15	0,30	2	15	0,30
Costo de la operación	1	20	0,20	2	20	0,40
Productos y subproductos asociados a la operación	0	35	0,00	2	35	0,70
Complejidad de la operación	3	10	0,30	1	10	0,10
Seguridad de la operación	2	20	0,40	2	20	0,40
Total			1,20			1,90

Cuadro 4.7 Calificación de las tecnologías de adición de hipoclorito de sodio y empleo de ozono.

Parámetros	Hipoclorito de sodio			Ozono		
	Puntaje	%	Total	Puntaje	%	Total
Costo de la tecnología	2	15	0,30	1	15	0,15
Costo de la operación	2	20	0,40	2	20	0,40
Productos y subproductos asociados a la operación	2	35	0,70	3	35	1,05
Complejidad de la operación	1	10	0,10	2	10	0,20
Seguridad de la operación	2	20	0,40	1	20	0,20
Total			1,90			2,00

Revisando la información de los cuadros anteriores, se observa que la calificación más alta es de 2,15 de un máximo posible de 3,00 y corresponde a la tecnología en la que se utiliza el intercambiador iónico, en la cual el parámetro de *productos y subproductos asociados a la operación*, que se considera el de mayor importancia, recibe el puntaje más alto.

La opción de utilizar ozono, también recibe la máxima puntuación en el parámetro de *productos y subproductos asociados a la operación*, sin embargo, la calificación general es de 2,00, más baja que en el caso del intercambiador iónico, ya que si bien el *costo de la tecnología* es mayor, el *costo de la operación* es menor, y el grado de *complejidad* es el mismo, por lo que la diferencia está en la *seguridad de la operación*, que como se mencionó antes, en el caso del ozono es donde existe un mayor riesgo a la salud de los operarios en comparación a las otras tecnologías.

Las alternativas de tratamiento con peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio tuvieron una calificación de 1,9. A diferencia del intercambio iónico, estas tienen un costo de operación más bajo, sin embargo, el puntaje es menor en los parámetros de *productos y subproductos asociados a la operación* y en el grado de *complejidad*. Por otro lado, el uso de precipitantes y floculantes tienen un precio elevado, por lo que el costo de operación y su calificación baja a 1,8.

La filtración con carbón activado y filtro ayuda recibe una calificación de 1,2, la más baja de todas las propuestas, esto debido a que el resultado obtenido en la remoción del azúcar no es el requerido, por lo que el puntaje en el parámetro de *productos y subproductos asociados a la operación* es cero; no obstante, si se combina este proceso con otro tratamiento se puede lograr el producto deseado.

Considerando los resultados obtenidos de la herramienta de selección, así como la información analizada previamente, se opta por la decoloración y desmineralización con intercambio iónico seguido de filtración con carbón activado y filtro ayuda para depurar el

proceso. El intercambio iónico es un proceso sencillo, seguro y que brinda resultados excelentes en la remoción del color y de la ceniza en el jarabe de azúcar.

Para lograr el color deseado de 35 UI, se emplearían dos pasos de intercambio iónico, el primero consiste en una columna rellena con dos tipos de resina aniónica para adsorción de colorantes, y la segunda contiene un lecho mixto donde se utilizaría resina catiónica y aniónica, la cual es muy adecuada para la remoción de cenizas conductimétricas.

Las dos resinas aniónicas que se utilizarían en la primera columna consisten en una resina acrílica y una resina estirénica. Esta primera columna sería utilizada para realizar el proceso de decoloración. En la segunda columna se utilizaría una resina catiónica de ácido débil y una aniónica de base fuerte poliestirénica. Esta segunda columna se destinaría al proceso de desmineralización.

Se propone utilizar los dos tipos de resina debido a que las acrílicas son más resistentes pero su capacidad para remover los colorantes del azúcar es menor en comparación a las resinas poliestirénicas.

Como se había mencionado en el capítulo 2, se recomienda que el licor de azúcar tenga un pH entre 8 y 9 para que los colorantes estén ionizados y se favorezca la remoción de los mismos.

En la segunda columna se realiza el proceso de desmineralización con la finalidad de remover las cenizas presentes en el licor de azúcar. En esta etapa se espera eliminar de un 80 % a un 90 % de las cenizas, y alrededor de un 90 % del color restante.

El lecho mixto conformado por resinas catiónicas y aniónicas, donde el ácido débil intercambia cationes y la base fuerte intercambia aniones, reduce la exposición prolongada

del licor de azúcar a condiciones fuertemente ácidas o alcalinas, lo que disminuye significativamente la destrucción de la sacarosa, como se había expuesto anteriormente.

En general se recomienda que tanto el proceso de decoloración como el de desmineralización, cuenten con dos columnas cada uno, es decir, dos unidades para decolorar y dos para desmineralizar, de tal forma que cuando una de las unidades esté en operación la otra se esté regenerando.

Las unidades para decolorar y desmineralizar, deben tener la capacidad para tratar al menos 110 L/min de jarabe. La presión de diseño típica es de 70 psi.

7. Deodorizado y Pulimento

Luego del paso del jarabe por las columnas de intercambio iónico, es necesario eliminar el olor y el color adquirido de las resinas por medio de un proceso de deodorización y pulimento.

Para el proceso de deodorización se utilizará un proceso de filtración por placas, el cual es muy utilizado en otras plantas donde se procesa azúcar para bebidas. Para que el proceso de filtración sea más eficiente, se utilizará carbón activado, ya que posee una adsorción muy alta para los cuerpos de color, compuestos de olor y otros no azúcares como los coloides.

También se utilizará filtro ayuda, ya que es un elemento de ayuda en el proceso del filtrado, puesto que evita la saturación de las placas del filtro. Está constituido por tierra de diatomeas o diatomita.

Como último paso, se envía el jarabe a dos filtros pulidores para eliminar los restos de carbón activado y otras partículas, para finalmente obtener 35 UI de color en el azúcar.

8. Enfriamiento

El jarabe se envía a un intercambiador de calor de placas para reducir la temperatura entre 22 °C y 20 °C. En el intercambiador se puede utilizar agua proveniente de las torres de enfriamiento y/o un sistema de recirculación con agua glicolada.

9. Almacenamiento

Después del enfriamiento, el jarabe se pasará por una unidad de lámparas de rayos ultravioleta (UV) para garantizar su control microbiológico previo a su almacenamiento en dos tanques de acero inoxidable. En este punto, el jarabe simple quedaría listo para su uso en los procesos de manufactura de bebidas.

10. Automatización del proceso

Todas las etapas del proceso estarían automatizadas y controladas bajo un sistema centralizado de control donde se registra el funcionamiento, los parámetros y las recetas de preparación del jarabe simple tratado.

La idea es que con este sistema se puedan obtener informes de trazabilidad del proceso desde la recepción del azúcar crema hasta la entrega del producto final, además es importante que exista información diaria sobre las limpiezas y mantenimientos programados en cada equipo, avisos preventivos, alarmas y su funcionamiento en general.

El sistema también deberá tener la flexibilidad de poder incorporar nuevos módulos o equipos en caso de que sea requerido.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

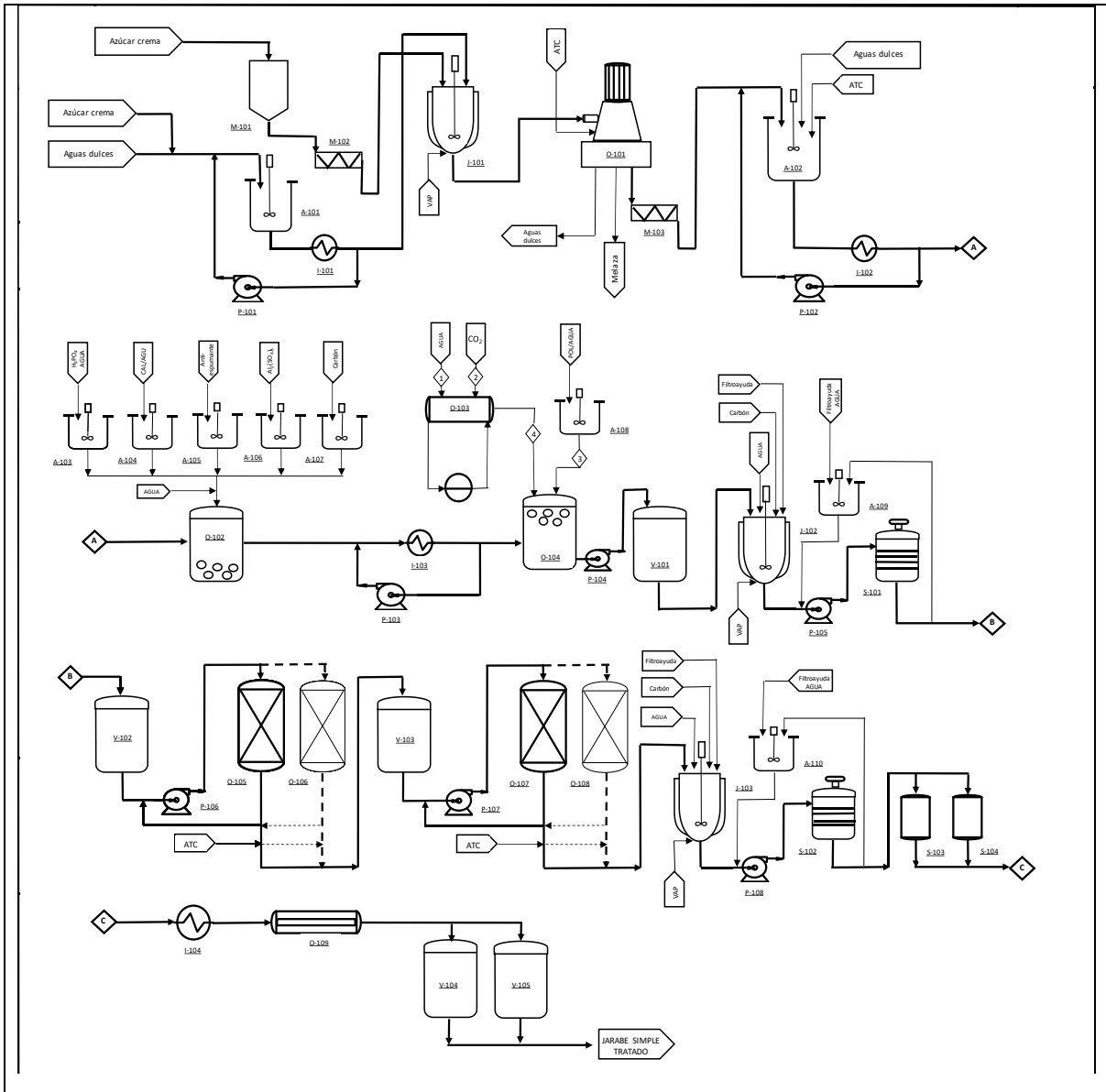


Figura 5.1 Diagrama de flujo del proceso de producción de jarabe de azúcar como ingrediente en la elaboración de refrescos a partir de azúcar de caña de baja calidad.

El proceso de producción del jarabe de azúcar como ingrediente en la elaboración de refrescos a partir de azúcar de caña de baja calidad, inicia en el proceso de afinado, donde se hace una preparación de un jarabe a 75 °Brix a partir del residuo de aguas dulces

proveniente de la centrífuga, más agua tratada y azúcar crema. Esta mezcla se realiza en el tanque de jarabe A-101 donde luego se pasa por el intercambiador de placas I-101 para subir la temperatura a 75 °C, y se recircula por la bomba P-101 hacia el tanque A-101 para mantener la temperatura constante.

Por otro lado, se dosifica azúcar crema a la tolva M-101, la cual pasa por un tornillo sinfín M-102 antes de pasar al tanque de afinado J-101 para ser mezclado con el jarabe de 75 °Brix y donde se emplea vapor para subir la temperatura de 34 °C a 60 °C.

De esta mezcla se obtiene una especie de magma que se envía a la centrífuga O-101, donde una vez separado el jarabe puro y limpio de la melaza y del residuo de aguas dulces, se envía al tanque disolutor A-102 mediante un tornillo sinfín M-103. En este punto, se le adiciona al jarabe que viene de la centrífuga, agua tratada caliente a 80 °C y aguas dulces proveniente del proceso de lavado de lodos y de los remanentes contenidos en las tuberías de trasiego.

El producto obtenido debe recircularse por un intercambiador de calor I-102 mediante la bomba P-102 para mantener la temperatura de 80 °C antes de realizar el proceso de flotación, esto debido a que la centrífuga opera por ciclos.

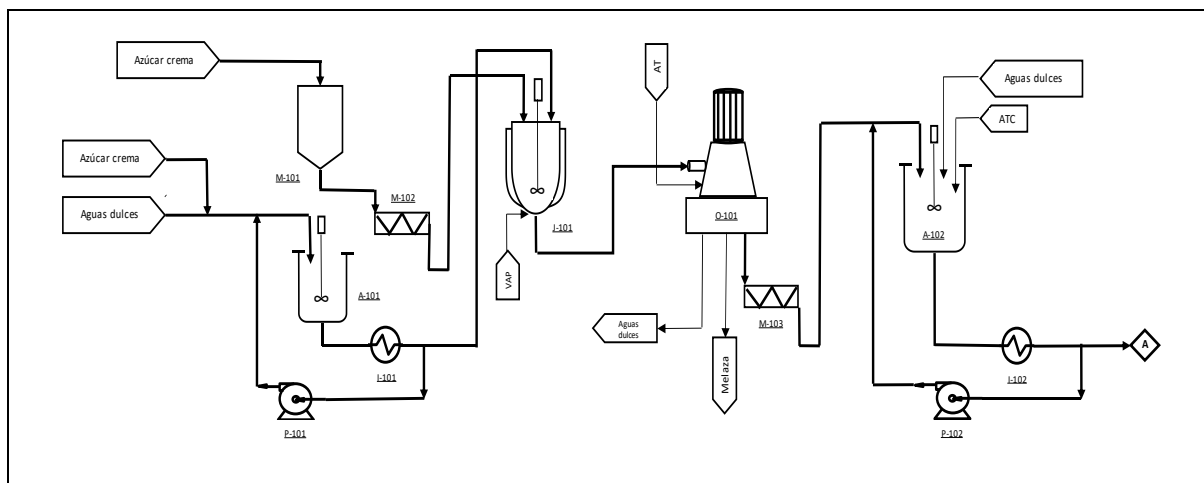


Figura 5.2 Diagrama de flujo del proceso de mezclado y afinado, centrifugado y disolución.

Posteriormente, se preparan los reactivos necesarios para realizar el proceso de clarificado del jarabe, para lo cual se necesita el tanque A-103 para alistar el ácido fosfórico, el tanque A-104 para preparar la solución de cal y agua, el tanque A-105 para la solución de antiespumante, el tanque A-106 para la mezcla con sulfato de aluminio y finalmente, el tanque A-107 para la disolución de carbón activado y agua. Estos reactivos se añaden al jarabe de azúcar que se encuentra dentro del tanque clarificador O-102.

Luego de que los reactivos reaccionan con el jarabe para formar los primeros flóculos que luego son separados, se procede a pasar el jarabe por un intercambiador I-103 y recircularlo por medio de la bomba P-103 antes de enviarlo al tanque O-104 donde se llevará a cabo el proceso de flotación, ya que se necesita que el jarabe esté a una temperatura de 82 °C.

Para el proceso de flotación, es necesario preparar una disolución de poliacrilamida y agua en el tanque A-108. También debe prepararse el agua carbonatada con una temperatura de 1 °C en el carbonatador O-103. Al jarabe que se encuentra a 82 °C en el tanque de flotación O-104, se le añade primero el polímero y luego el agua carbonatada, se agita y se mantiene en reposo para obtener los flóculos que posteriormente serán separados por flotación. Una vez realizado el proceso de clarificado y floculación, el jarabe se envía al tanque de balance V-101 mediante la bomba P-104.

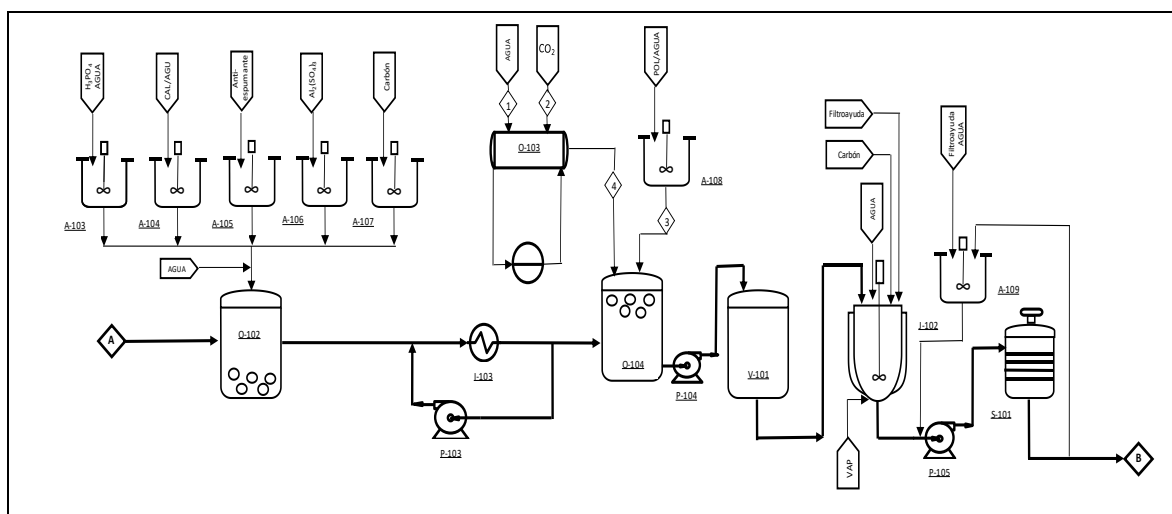


Figura 5.3 Diagrama de flujo del proceso de clarificación, flotación y filtración.

El jarabe pasa por gravedad a un proceso de filtración en el tanque de calentamiento con vapor J-102, donde se agregan el filtro ayuda, el carbón activado y el agua para remover las impurezas no removidas del proceso anterior. Esta mezcla se agita antes de ser enviada al filtro de placas S-101 con ayuda de la bomba P-105. Para facilitar el proceso de filtración, las placas del filtro son recubiertas con una precapa de filtro ayuda el cual es preparado previamente en el tanque A-109. Esta solución se mantiene en recirculación para que las placas mantengan la precapa durante el proceso.

Luego de la filtración, el jarabe se envía al tanque de balance V-102, para luego pasarlo por la bomba P-106 hacia la primera torre de intercambio iónico donde se realizará el proceso de decoloración. La primera torre llamada O-105, está compuesta de dos tipos de resina aniónica: acrílica y estirénica. Previo al paso del jarabe por la torre, el lecho de la resina debe ser precalentado con agua tratada caliente a 50 °C con el fin de disminuir el choque térmico antes del ingreso del jarabe.

La segunda torre para decoloración del jarabe se llama O-106, y se utilizará como respaldo en caso de que la torre O-105 esté fuera de servicio por mantenimiento, por encontrarse en el periodo de retrolavado o por cualquier otra causa.

Una vez concluida la decoloración, el jarabe se envía a un tanque de balance V-103 previo a su paso por la columna de intercambio iónico donde se realiza el proceso de desmineralización. Esta torre identificada como O-107 contiene una mezcla de resina catiónica de ácido débil y una aniónica de base fuerte poliestirénica. Al igual que la torre para decoloración del jarabe, la columna desmineralizadora debe ser precalentada con agua tratada caliente a 50 °C. De esta forma, el jarabe contenido en el tanque de balance V-103, es enviado mediante la bomba P-107 hacia la columna O-107. Al igual que en el proceso anterior, se tiene una segunda torre desmineralizadora como respaldo identificada como O-108.

Posterior al proceso de decoloración y desmineralización, el jarabe se pasa por un proceso de deodorización y pulido, el cual tiene el objetivo de eliminar el olor y el color que se adquiere en el paso por las resinas de intercambio iónico.

Para este proceso, el jarabe se somete nuevamente por un proceso de filtración en un tanque de calentamiento con vapor identificado como J-103, donde se agregan el filtro ayuda, el carbón activado y el agua. Esta mezcla se agita antes de ser enviada por la bomba P-108 al filtro de placas S-102, en el cual las placas del filtro son recubiertas con una precapa de filtro ayuda, mismo que es preparado con antelación en el tanque A-110. Esta solución se mantiene en recirculación para que las placas conserven la precapa durante todo el ciclo.

El proceso de pulimento se realiza en dos filtros pulidores identificados como S-103 y S-104, los cuales contienen filtros de polipropileno de 5 micras con el objetivo de eliminar posibles trazas de carbón activado y partículas aromáticas provenientes del proceso anterior de deodorizado por filtración.

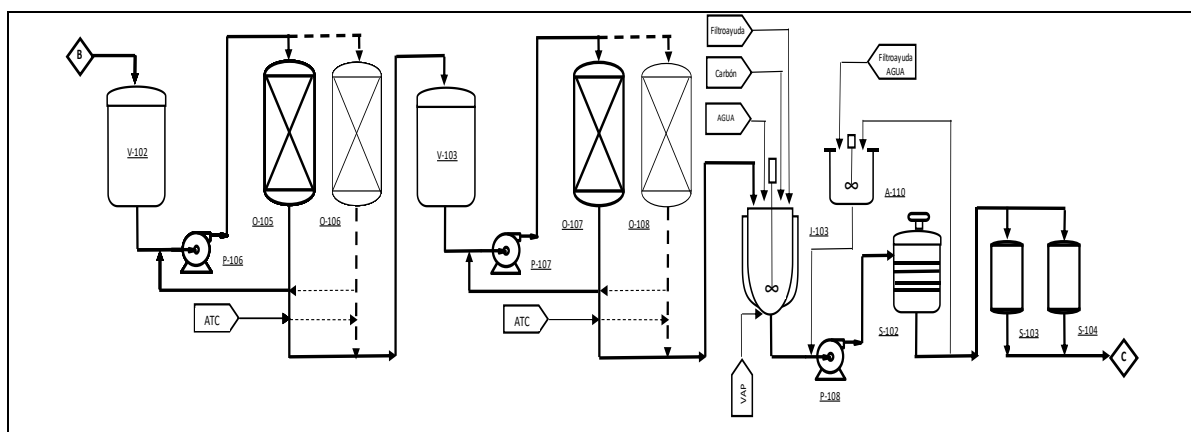


Figura 5.4 Diagrama de flujo del proceso de decoloración, desmineralización, deodorizado y pulimento.

Posteriormente, el jarabe es enviado al intercambiador de calor I-104 para reducir la temperatura de 80 °C a 20 °C, antes de pasar por la lámpara de rayos ultravioleta O-109, último proceso de tratamiento cuya finalidad es asegurar el cumplimiento de los parámetros de control microbiológico.

Finalmente, el jarabe de azúcar es enviado a los tanques de almacenamiento V-104 y V-105 desde los cuales se suministra a la sala de jarabe según las necesidades de producción.

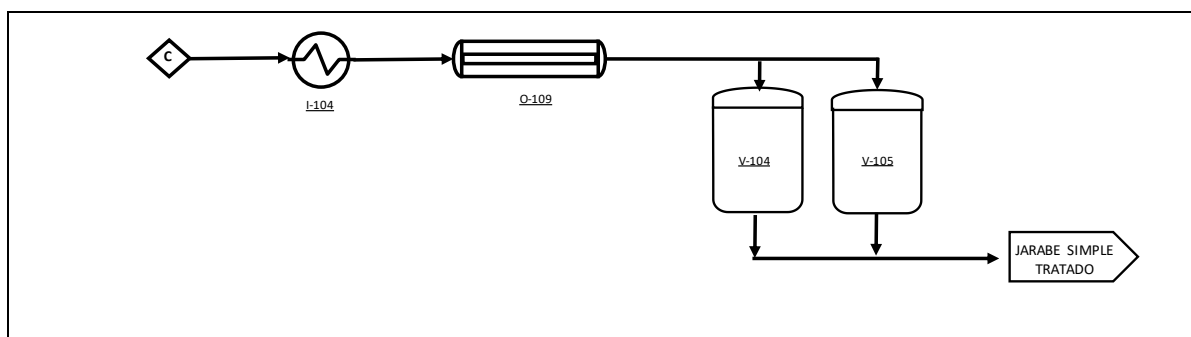


Figura 5.5 Diagrama de flujo del proceso de enfriamiento y almacenamiento.

El diagrama de flujo del proceso se puede observar con detalle en el Apéndice B.

CAPÍTULO 6

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

6.1 Balances de materia

Para el balance de materia del proceso se considera la ecuación básica:

$$A = E - S + G - C \quad (6.1)$$

Donde A = acumulación, E = entrada, S = salida, G = generación y C = consumo dentro del sistema (Himmelblau, 1997).

Los valores de las variables dentro del sistema no cambian en el tiempo, por consiguiente, no ocurre acumulación y no se consideran los términos de generación y consumo, por lo que la ecuación 6.1 se simplifica a (Himmelblau, 1997):

$$E = S \quad (6.2)$$

Considerando la ecuación simplificada 6.2, así como la información suministrada tanto por la Planta productora de bebidas como por los expertos en el tema por parte del corporativo de la embotelladora, se procede a realizar los balances de masa en cada parte del proceso de obtención de jarabe simple tratado.

Primero se tiene como insumo las aguas dulces obtenidas como un sub-producto del proceso de centrifugación, las cuales constituyen un 5 % para un total de 55,6 kg como se verá más adelante. Estas aguas dulces tienen 10 °Brix.

A estas aguas dulces debe agregárseles azúcar crema para poder obtener un jarabe de alta pureza de 75 °Brix, para de esta forma, poder efectuar el proceso de afinado del azúcar

crema. En este proceso de ajuste del brix, se pierden 25,04 kg de agua, por lo que al final se obtienen 100 kg de Jarabe de alta pureza a 75 °Brix.

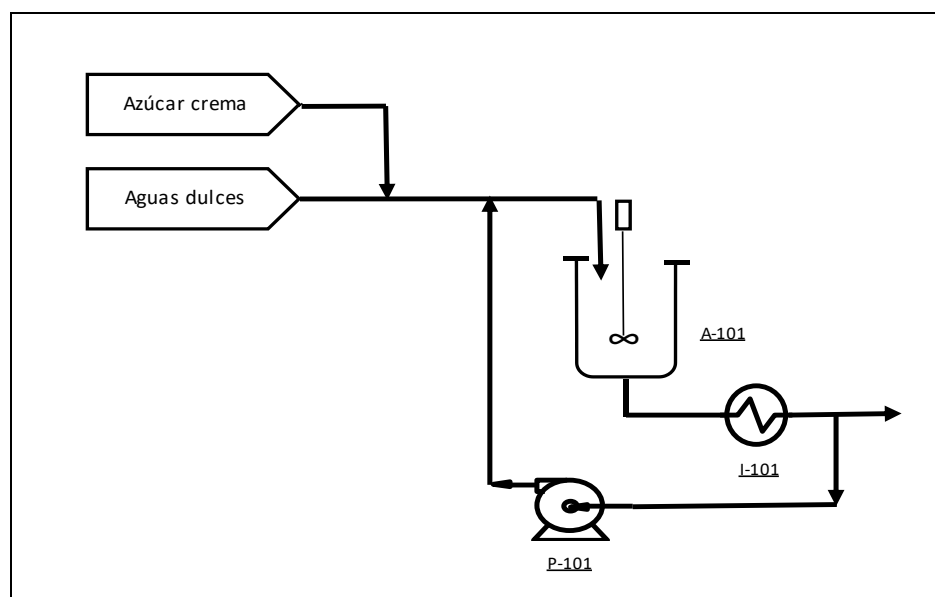


Figura 6.1 Proceso de elaboración del jarabe de alta pureza a 75 °Brix.

En cuadro 6.1 se puede apreciar el balance de masa necesario para obtener el jarabe alta pureza a 75 °Brix.

Cuadro 6.1 Balance de masa para el proceso de obtención de Jarabe a 75 °Brix.

Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Azúcar contenida en las aguas dulces de 10 °Brix	5,56
Agua contenida en las aguas dulces de 10 °Brix	50,04
Azúcar crema añadida	69,44
Salida	Flujo (kg/ciclo)
Azúcar contenida en el Jarabe de 75 °Brix	75
Cantidad de agua contenida en el Jarabe de 75 °Brix	25
Jarabe de alta pureza a 75 °Brix	100

De esta manera, el azúcar crema añadida tiene el objetivo de convertir las aguas dulces con un brix bajo de 10 °Brix a un jarabe de alta pureza de 75 °Brix.

Posteriormente, en el tanque J-101 donde se realiza el afinado del jarabe, se introduce el azúcar crema que se quiere convertir en jarabe simple tratado, junto con el jarabe de alta pureza de 75 °Brix. El detalle se puede ver en la figura 6.2 y en el cuadro 6.2.

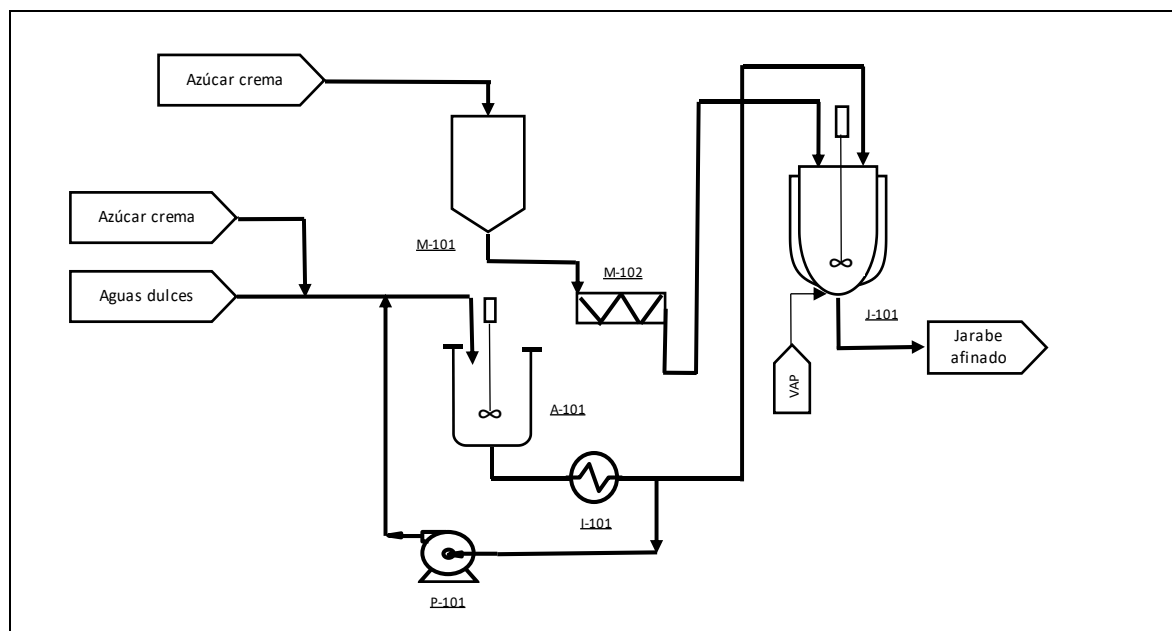


Figura 6.2 Diagrama de flujo del proceso de mezclado y afinado.

Cuadro 6.2 Balance de masa en el tanque de afinado J-101.

Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Azúcar crema	1 000
Jarabe de alta pureza a 75 °Brix	100
Salida	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe afinado	1 100

Continuación Cuadro 6.3 Balance de masa en la centrífuga O-101.

Salida	Flujo (kg/ciclo)
Masa húmeda de azúcar	945,2
Melaza	111,2
Aguas dulces	55,6
Producto final obtenido	1 112

Las especificaciones técnicas de la centrífuga BMA escogida, indican que luego de que el azúcar pasa por el proceso de centrifugación, se obtiene un producto conformado por 85 % de una masa húmeda de azúcar, 10 % de melaza y 5 % de aguas dulces. Estas aguas dulces son las que luego se utilizan para elaborar el jarabe de alta pureza de 75 °Brix. La melaza es retirada del proceso para su posterior manejo fuera de la planta.

Mediante el uso de este tipo de centrífuga, se espera una reducción del color del jarabe en un rango que va de 35 % a 40 %; en este caso específico se estima un 37 % de reducción lo que significa que el jarabe queda en 850 UI de color.

Posteriormente, la masa húmeda pasa al tanque disolutor A-102, donde se agrega agua tratada caliente a 80 °C y aguas dulces provenientes del lavado de lodos y remanentes contenidos en las tuberías. Esto tienen dos objetivos: el primero es elevar la temperatura de la masa que sale de la centrífuga a 60 °C y que debe estar a 80 °C; y el segundo, ajustar el brix de la masa que sale a 95 °Brix y que debe estar en 65 °Brix. El color del jarabe se mantiene en 850 UI.

El balance de masa quedaría de la siguiente manera:

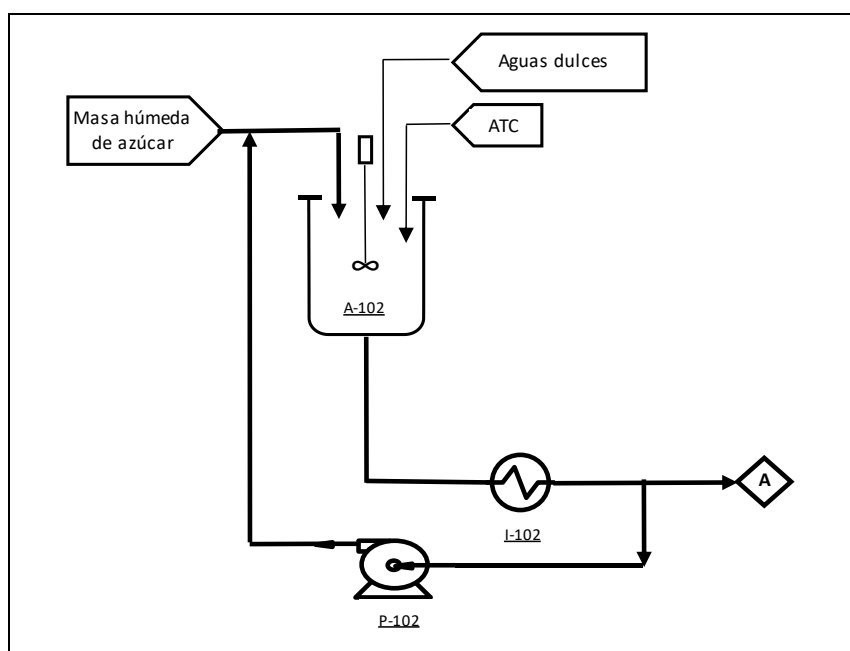
Cuadro 6.4 Balance de masa en el tanque disolutor A-102.

Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Masa húmeda de azúcar	945,2
Agua añadida (agua tratada caliente a 80 °C + aguas dulces del lavado de lodos y de los arrastres del proceso)	508,95

Continuación Cuadro 6.4 Balance de masa en el tanque disolutor A-102.

Salida	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe de azúcar	1 454,15

En la figura 6.4 se observa el proceso en el tanque disolutor A-102.

**Figura 6.4** Diagrama de flujo del proceso de disolución.

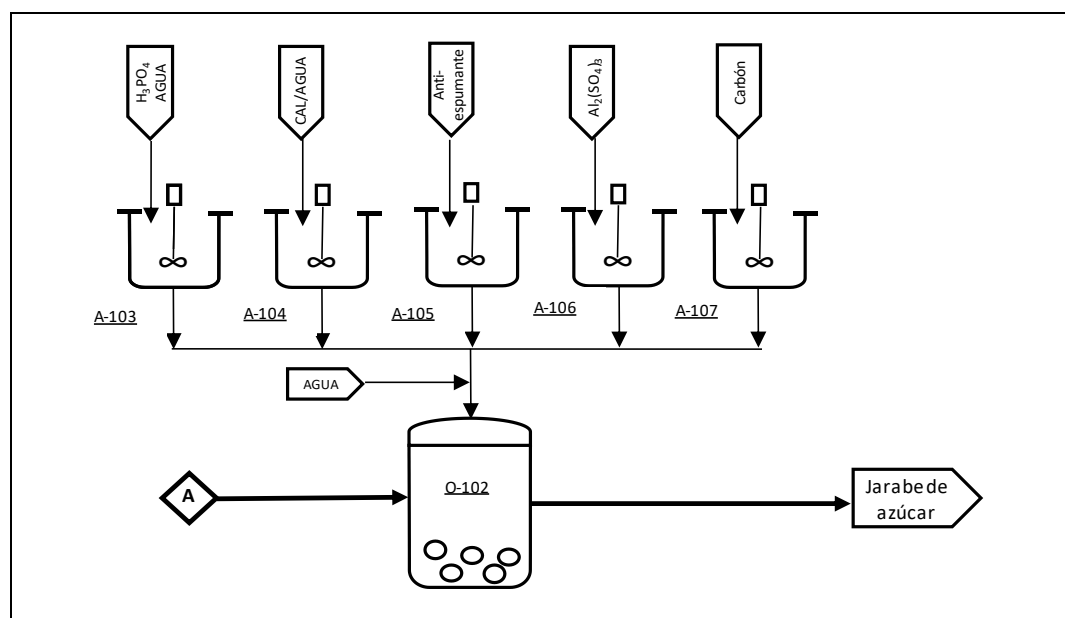
El siguiente proceso al que es sometido el jarabe, es el de clarificado o primera floculación, donde se deben de añadir una serie de soluciones químicas para que la reacción de formación de flóculos se vaya efectuando. En el cuadro 6.5 se pueden ver los balances de masa y en la figura 6.5 el diagrama de flujo.

Cuadro 6.5 Balance de masa en el tanque clarificador O-102.

Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe de azúcar	1 454,15
Reactivos	3,80
Agua	4,00

Continuación Cuadro 6.5 Balance de masa en el tanque clarificador O-102.

Salida	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe de azúcar	1 461,95

**Figura 6.5** Diagrama de flujo del proceso de clarificación.

Para el clarificado se necesita preparar 5 soluciones químicas o reactivos:

- Ácido fosfórico con agua
- Hidróxido de calcio o cal con agua
- Antiespumante con agua
- Sulfato de aluminio con agua
- Carbón activado con agua

Para realizar este balance de masa, se toman los porcentajes de dosificación sugeridos en los requerimientos del corporativo de la embotelladora, tanto para los reactivos como para el agua añadida.

Por motivo de confidencialidad no se especifica cada porcentaje, pero si se muestra la cantidad en kilogramos que representa la suma de los reactivos y el agua.

El proceso llamado segunda floculación se da cuando el jarabe de azúcar se envía al tanque de flotación y se añade polímero de poliacrilamida y agua carbonatada a una temperatura de 1 °C. En esta etapa se forman flóculos que luego serán removidos por flotación.

En la figura 6.6 se puede ver el detalle del proceso.

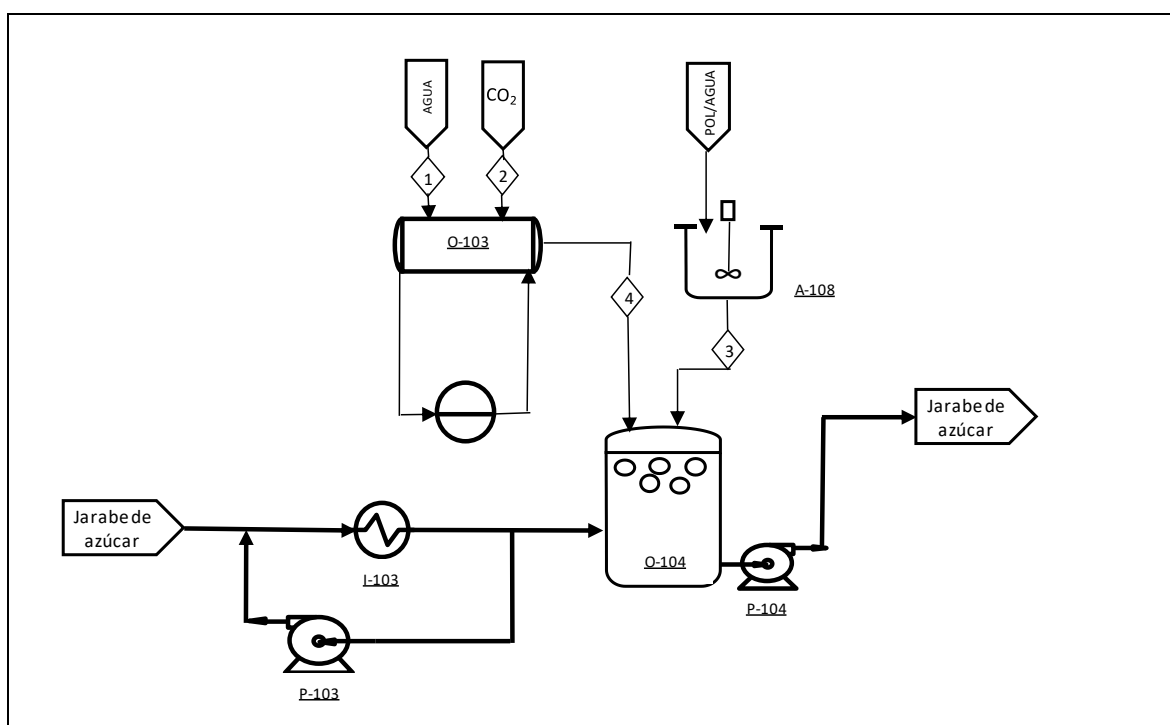


Figura 6.6 Diagrama de flujo del proceso de floculación.

En este caso, la cantidad de polímero y agua carbonatada añadida al jarabe, también está especificada en los requerimientos del corporativo al que pertenece la embotelladora.

Los flóculos removidos representan un porcentaje entre el 1 % y el 2 % del jarabe tratado según el criterio de los expertos dentro del corporativo. En este caso se utilizó un porcentaje

cercano al intermedio de 1,42 % para facilitar el balance de materia; en el cual se tomaron en cuenta los componentes que conforman estos flóculos: restos de azúcar, agua, reactivos y lodo.

Luego de la etapa de clarificado y flotación, el jarabe de azúcar pierde alrededor de un 30 % del color según los expertos, por lo que, de estar en 850 UI en la etapa anterior, el color se reduce a 600 UI.

En el cuadro 6.6 se observa el detalle del balance de materia.

Cuadro 6.6 Balance de masa en el tanque de flotación O-104.

Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe de azúcar	1 461,95
Polímero	1,46
Agua carbonatada	50,00
Salida	Flujo (kg/ciclo)
Desecho (flóculos removidos)	21,50
Jarabe de azúcar	1 491,91

Posteriormente, el jarabe se somete a un proceso de filtración para eliminar los restos de partículas finas y flóculos que no pudieron ser removidos.

El carbón activado, el filtro ayuda y el agua se dosifican en la misma proporción según los requerimientos de la embotelladora provenientes del corporativo, donde el porcentaje de dosificación escogido se encuentra en el valor mínimo del rango establecido, esto para minimizar el consumo y el costo de las ayudas de proceso.

En la figura 6.7 se observa el diagrama de este proceso.

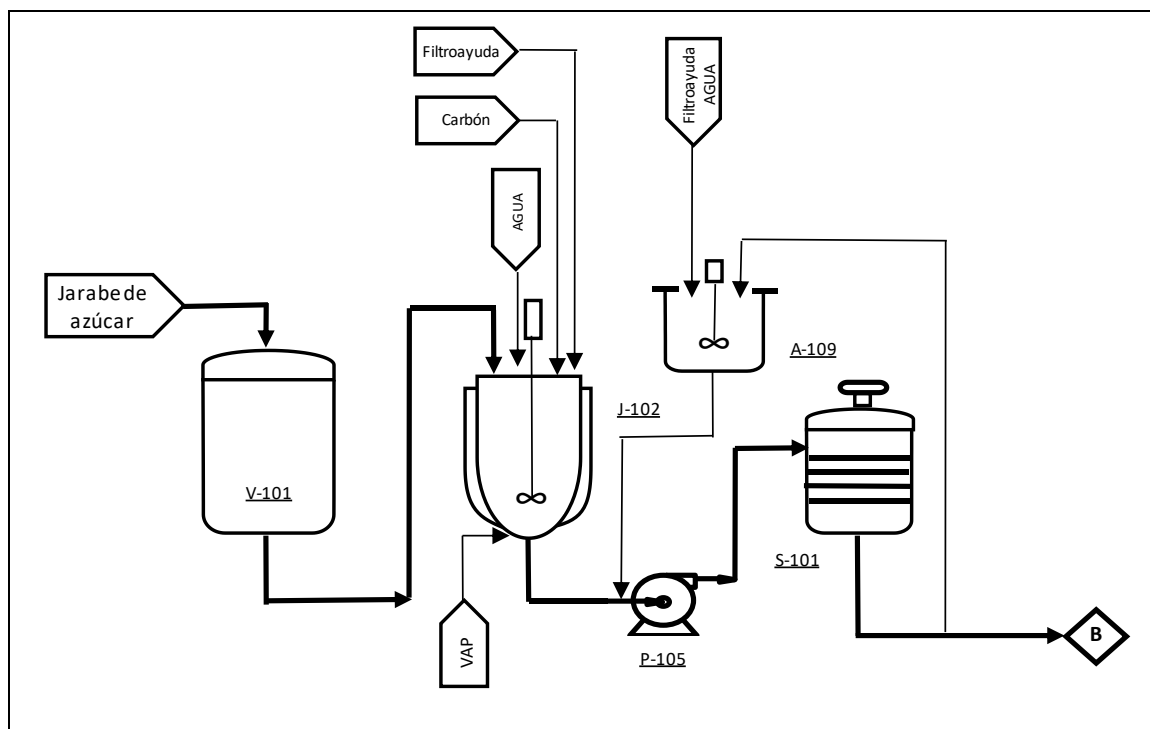


Figura 6.7 Diagrama de flujo del proceso de filtración.

Según criterio de los expertos, el desecho o partículas removidas durante la filtración se encuentra en un porcentaje entre 0,3 % y 0,6 %, para este caso se considera un porcentaje cercano al intermedio del 0,4 % de remoción.

Después del proceso de filtración, se obtendría un jarabe con un color de 500 UI lo que representa una reducción aproximada del 16,6 %, rango que se encuentra dentro de las estimaciones de los expertos, los cuáles sitúan esta reducción entre el 15 % y el 20 %.

Cuadro 6.7 Balance de masa en el tanque de calentamiento J-102.

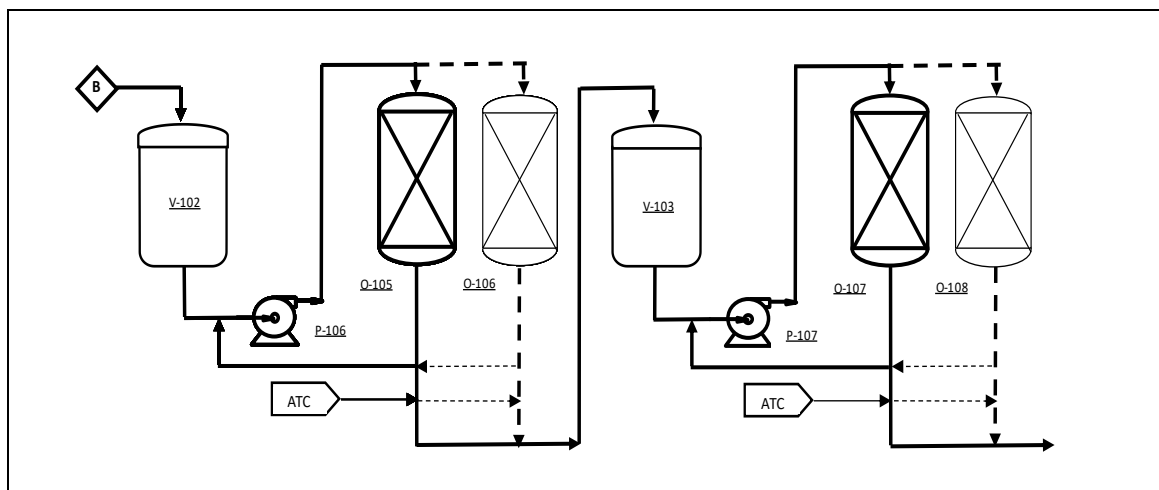
Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe de azúcar	1 491,91
Carbón activado	3,73
Filtro ayuda	3,73
Agua	3,73

Continuación Cuadro 6.7 Balance de masa en el tanque de calentamiento J-102.

Salida	Flujo (kg/ciclo)
Desecho	6,03
Jarabe de azúcar	1 497,07

Posteriormente, el jarabe pasa a un proceso de decoloración y desmineralización mediante torres de intercambio iónico en el que se remueve un porcentaje del desecho conformado por restos de azúcar, reactivos, cenizas y otras impurezas.

La cantidad de desecho considerada para este ejercicio se basa en el criterio de empresas expertas como lo es el de la compañía española Seppelec, donde los porcentajes de desecho pueden oscilar entre 0,30 % y 0,35 %. En este caso, por facilidad en los cálculos del balance y porque el desecho generado se considera que será bajo, se estima un 0,31 % de producto desechado. En la figura 6.8 se observa el diagrama del proceso.

**Figura 6.8** Diagrama de flujo del proceso de decoloración y desmineralización.

El paso por las columnas de intercambio iónico, permiten una importante reducción del color del jarabe, el cual pasa de 500 UI antes de entrar a la primera torre y sale a 50 UI al salir de la segunda torre. En esta etapa se da una reducción del 90 % del color.

En el cuadro 6.8 se muestra el balance de materia en esta etapa del tratamiento del jarabe de azúcar.

Cuadro 6.8 Balance de masa para los procesos de decoloración y desmineralización.

Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe de azúcar	1 497,07
Salida	Flujo (kg/ciclo)
Desecho	4,62
Jarabe de azúcar	1 492,45

Luego de que el jarabe es sometido al tratamiento en las columnas de intercambio iónico, se pasa a una fase de deodorizado y pulimento por filtración con la finalidad de eliminar el olor y el color adquirido por el paso del jarabe a través de las resinas. A continuación, el detalle del proceso en el diagrama 6.9.

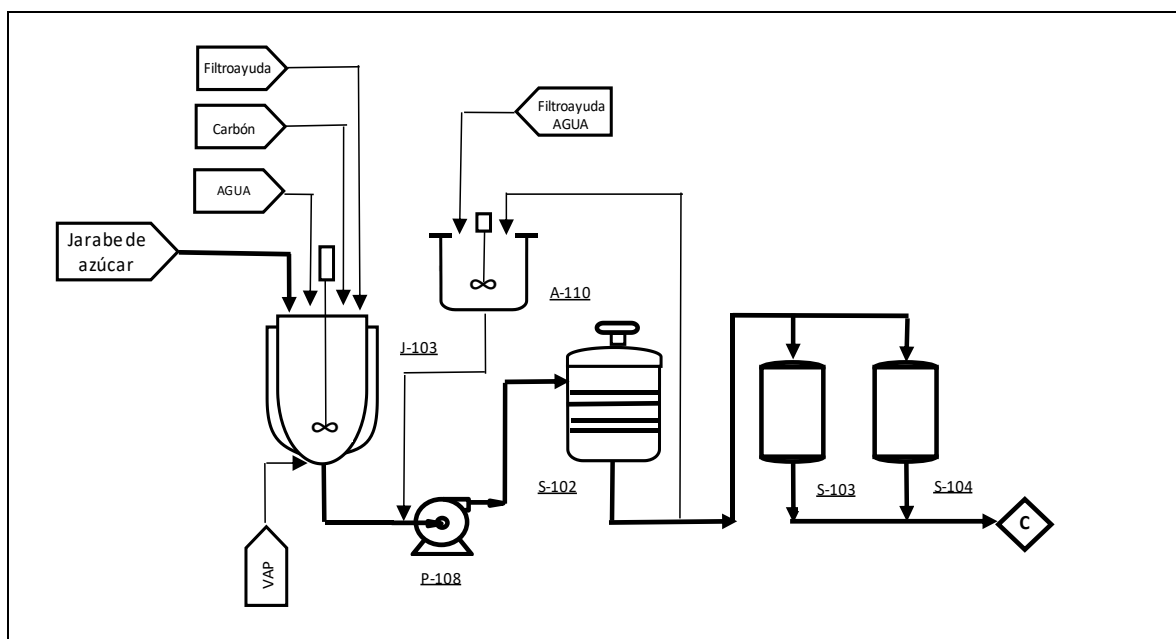


Figura 6.9 Diagrama de flujo del proceso de deodorizado y pulimento.

Para la cantidad de carbón activado, filtro ayuda y agua requerida en este proceso, se toman en cuenta las mismas consideraciones mencionadas para los datos obtenidos en el cuadro 6.7, las cuales se basan en los requerimientos de la embotelladora que son facilitados por el corporativo.

La cantidad de desecho generado entre restos de azúcar, agua, reactivos y lodo, representa un porcentaje que según los expertos de la empresa es de aproximadamente un 5 %. En este caso se consideró un 5,23 %, ya que al estimar la contribución en kilogramos de cada material que conforma el desecho, el resultado obtenido representó un 5,23 %.

El proceso de pulido se realizará mediante el uso de filtros de carcasa con cartuchos de polipropileno con un tamaño de poro de 5 micrómetros, esto con el fin de eliminar trazas de carbón activado y partículas aromáticas provenientes del proceso anterior.

Las impurezas removidas en el pulimento representan un porcentaje ínfimo, por lo que se considera que la obtención final del jarabe simple tratado queda en 1 426 kg.

Cuadro 6.9 Balance de masa en el tanque de calentamiento J-103.

Entrada	Flujo (kg/ciclo)
Jarabe de azúcar	1 492,45
Carbón activado	3,73
Filtro ayuda	3,73
Agua	3,73
Salida	Flujo (kg/ciclo)
Desecho	78,05
Jarabe de azúcar	1 425,60

Luego de esta etapa, el color obtenido se reduce a 35 UI, lográndose una reducción del 30 % con respecto a la etapa anterior.

Cabe destacar que en la última parte del proceso de tratamiento que corresponde al paso del jarabe a través de las lámparas ultravioleta, no se realiza ningún balance de materia, ya que la corriente de entrada es la misma que la de la salida. El diagrama de esta última etapa del tratamiento se observa en la figura 6.10.

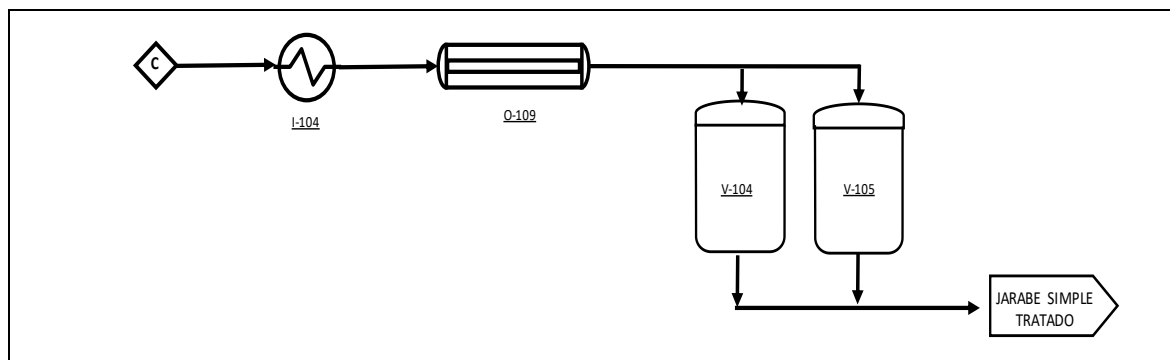


Figura 6.10 Diagrama de flujo del proceso de enfriamiento y almacenamiento.

Por lo tanto, se tiene que al concluir el tratamiento del azúcar crema, se obtienen 1 426 kg de jarabe simple tratado listo para ser usado en la producción de bebidas. El jarabe simple obtenido tendría un brix de 65 grados, una temperatura de 20 °C y un color de 35 UI, además de que cumpliría con todos los parámetros mencionados en los capítulos 3 y 4.

Los 1 426 kg de jarabe simple se pueden convertir a unidades de volumen utilizando la fórmula 3.2 del capítulo 3, dando como resultado 1 668 litros de jarabe por ciclo de operación de la centrífuga.

Como se detalló en el capítulo 3, la tecnología de tratamiento del azúcar debe contemplar un flujo requerido de 110 L/min de jarabe simple o 6 588 L/h para cumplir con la demanda de producción de la Planta embotelladora en un plazo de 5 años. Esto significa que, según el balance de materia realizado, se deben realizar 4 ciclos por hora de tratamiento completo para cumplir con la demanda, es decir, cuatro ciclos de 1 668 litros de jarabe en una hora o 6 588 L/h.

6.2 Balances de energía

Para el balance de energía del proceso se considera la ecuación básica:

$$\Delta E = Q + W \quad (6.3)$$

Donde ΔE = la energía acumulada en el sistema, Q = transferencia neta de calor entre el sistema y su entorno y W = transferencia neta del trabajo entre el sistema y su entorno.

En este caso, W es cero porque el volumen del sistema está fijo, por lo que la ecuación 6.3 se simplifica al cálculo de Q como el calor sensible, en el cual la entalpía varía en función de la temperatura y está dada por la siguiente ecuación:

$$Q = mx C_p \Delta T \quad (6.4)$$

Donde m = masa dentro del sistema, C_p = capacidad calorífica y ΔT = cambio entre la temperatura de entrada y la de salida.

Considerando la ecuación simplificada 6.4, así como la información suministrada tanto por los expertos dentro del corporativo como por la Planta embotelladora de bebidas, se procede a realizar los balances de energía en cada parte del proceso de obtención de jarabe simple tratado.

Un punto importante por considerar es que los valores de C_p (capacidad calorífica) utilizados para los balances de energía, toman como base un dato específico dado por los expertos del corporativo, el cual dicta que, para un jarabe de 70 °Brix, el C_p es igual a $2,66 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$, de ahí se calculan los C_p requeridos para los balances de energía desarrollados.

El primer balance inicia en el tanque A-101 donde se prepara el jarabe de alta pureza a 75 °Brix (la figura 6.1 muestra el diagrama de este proceso). En este caso, el balance de energía quedaría de la siguiente manera:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (6.5)$$

$$\text{Azúcar crema} + \text{Aguas dulces} = \text{Jarabe de alta pureza a 75 °Brix} \quad (6.6)$$

Cuadro 6.10 Balance de energía en el tanque A-101 de preparación del jarabe de alta pureza.

Propiedad	Valor	Unidades
Temperatura de entrada	41	°C
Temperatura de entrada	314,15	K
Temperatura de salida	75	°C
Temperatura de salida	348,15	K
Diferencial de temperatura (ΔT)	34	K
Masa (m)	100,00	kg
C_p a 75 °Brix	2,85	$\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$
Calor añadido (Q)	9 690,0	kJ

En este caso, la temperatura del azúcar crema se considera a temperatura ambiente en aproximadamente 30 °C, mientras las aguas dulces salen de la centrífuga a 55 °C. Para este balance se considera la contribución porcentual de cada corriente de entrada con respecto al total, de esta forma, el azúcar crema añadido para el ajuste del brix representa un 56 % de la mezcla total y las aguas dulces conformarían el 44 % restante, por lo que la temperatura de entrada al tanque A-101 sería de 41 °C. El jarabe de alta pureza saldría a 75 °C.

Al aplicar la ecuación 6.4 se obtiene un valor de $Q = 9\,690,0$ kJ, que representa el calor añadido necesario para elevar la temperatura de 41 °C a 75 °C.

El siguiente balance se da en el tanque J-101 donde se da el proceso de mezclado y afinado del jarabe (la figura 6.2 muestra el diagrama de este proceso). En este caso, el balance de energía quedaría de la siguiente manera:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (6.7)$$

$$\text{Azúcar crema} + \text{Jarabe de alta pureza a } 75^\circ \text{Brix} = \text{Jarabe afinado} \quad (6.8)$$

Cuadro 6.11 Balance de energía en el tanque de afinado del jarabe J-101.

Propiedad	Valor	Unidades
Temperatura de entrada	34	°C
Temperatura de entrada	307,2	K
Temperatura de salida	60	°C
Temperatura de salida	333,15	K
Diferencial de temperatura (ΔT)	25,95	K
Masa (m)	1 100,00	kg
C_p a 75 °Brix	2,28	$\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$
Calor añadido (Q)	65 082,60	kJ

Al igual que en el caso anterior, la temperatura del azúcar crema se considera a temperatura ambiente en aproximadamente 30 °C y el jarabe de alta pureza se encuentra a 75 °Brix. De igual manera, se toma en cuenta la contribución porcentual de cada corriente de entrada con respecto al total, de tal forma que el azúcar crema representa un 91 % de la mezcla total y el jarabe de alta pureza el 9 % restante, por lo que la temperatura de entrada al tanque de afinado J-101 sería de 34 °C. El jarabe afinado saldría a 60 °C.

Al aplicar la ecuación 6.4 se obtiene un valor de $Q = 65\,082,60$ kJ, que representa el calor añadido necesario para elevar la temperatura de 34 °C a 60 °C.

Para el proceso realizado en la centrífuga no se realizará el balance energético, ya que, si bien hay una entrada de agua caliente a 80 °C, es muy pequeña en comparación al jarabe de azúcar que entra a 60 °C, por lo que la temperatura a la salida de la centrífuga se considera en 60 °C.

El siguiente balance será realizado en el tanque disolutor A-102, donde ingresa el jarabe que sale de la centrífuga a 60 °C y las aguas dulces del lavado de lodos más los empujes del proceso, los cuales se mezclan con agua tratada caliente para llegar a 80 °C.

Tomando en cuenta que el jarabe representa un 65 % de la mezcla total y por lo tanto la suma de las aguas serían el 35 % restante, se obtiene una temperatura de entrada de 67 °C.

El balance de energía quedaría así:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 \quad (6.9)$$

Sustituyendo las entradas y la salida de los productos en la ecuación anterior, se obtiene la ecuación 7.10.

$$\text{Jarabe } 60^\circ\text{C} + \text{Aguas dulces} + \text{Agua tratada caliente} = \text{Jarabe } 80^\circ\text{C} \quad (6.10)$$

En la figura 6.4 se puede ver el diagrama del proceso y en el cuadro 6.12 se puede ver como para subir la temperatura del jarabe a 80 °C, el calor requerido es de 46 692,76 kJ. El C_p del jarabe se calcula a 65 °Brix.

Cuadro 6.12 Balance de energía en el tanque disolutor A-102.

Propiedad	Valor	Unidades
Temperatura de entrada	67	°C
Temperatura de entrada	340,15	K

Continuación Cuadro 6.12 Balance de energía en el tanque disolutor A-102.

Propiedad	Valor	Unidades
Temperatura de salida	80	°C
Temperatura de salida	353,15	K
Diferencial de temperatura (ΔT)	13	K
Masa (m)	1 454,15	kg
C_p a 65 °Brix	2,47	$\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$
Calor añadido (Q)	46 692,76	kJ

El siguiente balance se realiza en el tanque de flotación O-104, donde ingresa el jarabe a una temperatura de 82 °C luego de efectuado el proceso de clarificado, además de agua carbonatada a 1 °C y una pequeña cantidad de polímero. El jarabe sale a 80 °C.

El balance de energía sería el siguiente:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (6.11)$$

Sustituyendo las corrientes de entrada y salida de los productos en la ecuación anterior, se obtiene la ecuación 6.12.

$$\text{Jarabe } 82^\circ\text{C} + \text{Agua carbonatada} + \text{Polímero} = \text{Jarabe } 80^\circ\text{C} + \text{lodos} \quad (6.12)$$

Para el cálculo de la temperatura de entrada se considera que el jarabe a 82 °C representa el 97 % de la corriente total y que el agua carbonatada a 1 °C representa el restante 3 %, no se toma en cuenta la cantidad de polímero ya que es sumamente pequeña y no provocaría variación en la temperatura.

En el cuadro 6.13 se pueden observar los detalles del balance, donde se tiene que, para lograr un pequeño aumento de temperatura de 79,57 °C a 80 °C, se necesitan 1 584,56 kJ. En la figura 6.6 se aprecia el diagrama de flujo de esta etapa del proceso.

Cuadro 6.13 Balance de energía en el tanque de flotación O-104.

Propiedad	Valor	Unidades
Temperatura de entrada	79,57	°C
Temperatura de entrada	352,72	K
Temperatura de salida	80	°C
Temperatura de salida	353,15	K
Diferencial de temperatura (ΔT)	0,43	K
Masa (m)	1 491,91	kg
C_p a 65 °Brix	2,47	$\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$
Calor añadido (Q)	1 584,56	kJ

En los procesos siguientes de filtración con carbón activado y filtro ayuda, decoloración y desmineralización por intercambio iónico y deodorizado y pulimento por filtración, no se lleva a cabo ningún balance energético, ya que la temperatura de entrada y de salida del jarabe en estos procesos se mantiene en 80 °C.

Por consiguiente, el último balance de energía es el que se da en el proceso de enfriamiento del jarabe simple tratado, al cual se le debe disminuir la temperatura de 80 °C a 20 °C. En la figura 6.10 se observa el diagrama de esta etapa final del proceso.

En este caso, el balance de energía quedaría de la siguiente manera:

$$Q_1 = Q_2 \quad (6.13)$$

$$\text{Jarabe simple tratado } 80\text{ }^{\circ}\text{C} = \text{Jarabe simple tratado } 25\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.14)$$

Cuadro 6.14 Balance de energía en el intercambiador de calor I-104.

Propiedad	Valor	Unidades
Temperatura de entrada	80	°C

Continuación Cuadro 6.14 Balance de energía en el intercambiador de calor I-104.

Propiedad	Valor	Unidades
Temperatura de entrada	353,15	K
Temperatura de salida	20	°C
Temperatura de salida	293,15	K
Diferencial de temperatura (ΔT)	-60,00	K
Masa (m)	1 426	kg
C_p a 65 °Brix	2,47	$\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$
Calor cedido (Q)	-211 333,20	kJ

En esta parte del tratamiento antes del paso por las lámparas de luz ultravioleta, se requiere que el jarabe pierda calor para poder realizar el proceso de enfriamiento, por lo que el valor negativo obtenido se refiere al calor cedido o calor perdido para reducir la temperatura a 20 °C. El valor de Q es de -211 333,20 kJ.

CAPÍTULO 7

DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

Para la selección y diseño de los equipos seleccionados con el fin de obtener el jarabe simple tratado, es indispensable tomar en cuenta los siguientes lineamientos básicos acordados en conjunto con la embotelladora:

- Todos los equipos deben tener diseño sanitario y facilidad de libre drenado.
- El espacio entre la parte de arriba de los tanques y las estructuras superiores como el techo, debe ser suficiente para permitir el acceso del personal y el equipo para realizar labores de mantenimiento, limpieza, saneamiento y otros.
- Todos los equipos deben ser fabricados con acero inoxidable tipo 304 o 316, ya que satisface todos los requerimientos para el manejo del jarabe. Este material tiene una apariencia brillante y una alta capacidad de pulido, es impermeable al jarabe y permite realizar un saneamiento adecuado.
- Al ser el jarabe viscoso, es necesario que las superficies de contacto de acero inoxidable tengan un acabado pulido para que no se adhiera, lo que sucedería si la superficie es rugosa. El drenado también se facilita con las superficies pulidas.

7.1 Tolva con tornillo dosificador

Tomando en cuenta los lineamientos anteriores, se procede al diseño del primer equipo, la tolva para la dosificación del azúcar crema.

Para ello se elige una tolva con tornillo dosificador, de tal forma que cuando el tornillo gire las partículas de azúcar se moverían desde la tolva hasta el final del alimentador.

En la figura 7.1 se puede ver el tipo de tolva elegida debido a la facilidad con la que el azúcar crema se va dosificando hacia el tornillo sinfín, proporcionando un patrón de flujo uniforme. Dicha tolva está conformada básicamente por una parte cilíndrica y una cónica. El tornillo gira al contrario de las manecillas del reloj y transportaría el azúcar hacia el extremo contrario del motor. El tornillo se usa con frecuencia para dosificar sólidos con un tamaño de partícula de hasta 1 cm; es adecuado para el transporte continuo de productos a granel ya sea en dirección ascendente u horizontal; su respuesta ante cambios de velocidad de giro es moderada y presenta una relación lineal (Bazán, 2010).

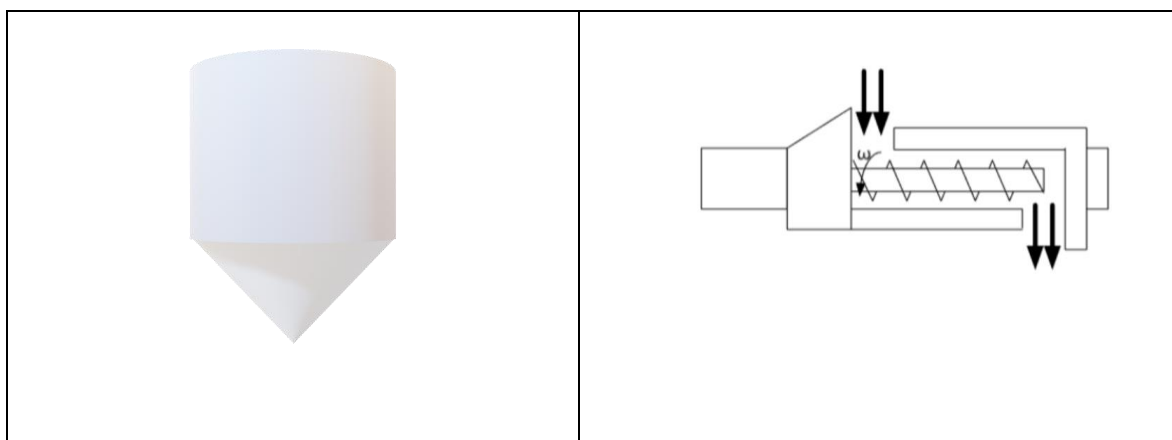


Figura 7.1 Tolva de alimentación y tornillo sinfín (Bazán, 2010).

Para realizar los cálculos de la tolva, se tomó como base un trabajo de graduación donde el proyecto consistió en diseñar, construir y probar un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de 4 componentes, tres de ellos sólidos y uno líquido (Álvarez & Calderón, 2011). Para este caso, se tomó como referencia el diseño realizado con la arena, ya que tiene una densidad de $1\,600\text{ kg/m}^3$, similar a la del azúcar crema, cuyo valor es de $1\,587\text{ kg/m}^3$.

Para este proceso se necesitan realizar 4 ciclos por hora del tratamiento del azúcar crema para generar la demanda de jarabe simple tratado como se explicó en el capítulo anterior. Cada ciclo requiere una carga de 1 000 kg de azúcar crema por lo que en teoría la tolva debería diseñarse tomando en cuenta este peso, sin embargo, las dimensiones serían

sumamente grandes si se toma como referencia el prototipo de Álvarez y Calderón. Se decide, por tanto, realizar un diseño más pequeño para 400 kg de azúcar crema con el fin de lograr una reducción importante del costo.

Para realizar los 4 ciclos de jarabe simple tratado se deben dosificar 1000 kg de azúcar crema cada 15 minutos, en el caso de la tolva con capacidad de 400 kg, significa que se debe llenar cada 6 minutos.

A continuación, en el cuadro 7.1 se muestran las dimensiones de la tolva obtenidas a partir del diseño de Álvarez y Calderón. A todas las dimensiones se les adicionó un 15 % como porcentaje de seguridad.

Cuadro 7.1 Dimensiones de la tolva con capacidad de 400 kg de azúcar crema (Álvarez & Calderón, 2011).

Propiedad	Unidades	Prototipo de Álvarez y Calderón	Tolva para 400 kg de azúcar crema
Ángulo de inclinación	grados	45	45
Masa contenida	kg	59	400
Volumen	m ³	0,03668	0,290
Diámetro del cilindro de la tolva	m	0,384	2,994
Altura del cilindro de la tolva	m	0,300	2,339
Altura del cono	m	0,216	1,684
Diámetro mayor del cono	m	0,384	2,994
Diámetro menor del cono	m	0,100	0,780
Altura total de la tolva	m	0,516	4,023

7.2 Tanques de proceso

En el caso de los tanques utilizados en todo el proceso, la Planta embotelladora y los expertos pertenecientes al corporativo de bebidas, proporcionan la información sobre el volumen de estos, los cuales representan medidas ampliamente utilizadas en otras embotelladoras.

Se utilizará la fórmula del volumen de la ecuación 7.1 (Warren L. McCabe, 2001), para obtener la medida del diámetro y de la altura de cada tanque.

$$V = \frac{\pi \times D_t^2 \times H}{4} \quad (7.1)$$

Donde V = volumen, $\pi = 3,14$, D_t = diámetro del tanque y H = altura. Si se asume que $D_t = H$, la ecuación anterior se convierte en la ecuación 7.2 (Warren L. McCabe, 2001).

$$V = \frac{\pi \times D_t^3}{4} \quad (7.2)$$

Si la fórmula anterior se despeja para obtener el diámetro, y por lo tanto la altura, se obtiene la siguiente ecuación:

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{V \times 4}{\pi}} \quad (7.3)$$

Utilizando la ecuación anterior, se obtienen los resultados mostrados en el cuadro 7.2, en el cual se aplica un 15 % adicional como factor de seguridad a los valores obtenidos en diámetro y altura.

Cuadro 7.2 Dimensiones de los tanques de proceso.

Proceso	Uso del tanque	Nomenclatura	Volumen, (L)	Volumen, (m ³)	Diámetro, (m)	Altura, (m)
Afinado	Jarabe de alta pureza	A-101	200	0,200	0,729	0,729
	Jarabe afinado	J-101	16 500	16,500	3,174	3,174
Disolución	Disolutor	A-102	16 500	16,500	3,174	3,174

Continuación Cuadro 7.2 Dimensiones de los tanques de proceso.

Proceso	Uso del tanque	Nomen- clatura	Volumen, (L)	Volumen, (m ³)	Diámetro, (m)	Altura, (m)
Clarificado	Preparación del ácido fosfórico	A-103	50	0,050	0,459	0,459
	Preparación de la cal	A-104	50	0,050	0,459	0,459
	Anti-espumante	A-105	50	0,050	0,459	0,459
	Preparación del sulfato de aluminio	A-106	50	0,050	0,459	0,459
	Preparación del carbón	A-107	50	0,050	0,459	0,459
	Agua carbonatada	O-103	1 000	1,000	1,247	1,247
	Preparación del polímero	A-108	50	0,050	0,459	0,459
	Clarificado	O-102	16 500	16,500	3,174	3,174
	Flotación	O-104	16 500	16,500	3,174	3,174
Filtrado	Balance	V-101	16 500	16,500	3,174	3,174
	Calentamiento del jarabe	J-102	16 500	16,500	3,174	3,174
	Preparación del filtro ayuda	A-109	50	0,050	0,459	0,459
Intercambio iónico	Balance 1	V-102	9 000	9,000	2,593	2,593
	Balance 2	V-103	9 000	9,000	2,593	2,593
Deodorizado y Pulimento	Calentamiento del jarabe	J-103	16 500	16,500	3,174	3,174
	Preparación del filtro ayuda	A-110	50	0,050	0,459	0,459
Almacena- miento	Reservorio #1	V-104	20 000	20,000	3,384	3,384
	Reservorio #2	V-105	20 000	20,000	3,384	3,384

Todos los tanques utilizados en el proceso, así como sus agitadores y piezas metálicas deben ser de acero inoxidable tipo 304 o 316 como se mencionó anteriormente, y con un acabado número 2B, en el cual se les proporciona a las estructuras y piezas de acero inoxidable, de un laminado final mediante unos rodillos muy pulidos que les provee de una superficie lisa, reflectante y grisácea, además de que proporciona una buena resistencia a la corrosión (Cochrane, 2019). Es necesario asegurarse que los tanques nuevos sean pasivados antes de ser usados.

La calibración debe realizarse mediante el uso de medidores calibrados, básculas, discos de presión o indicadores sanitarios de nivel.

7.3 Centrífuga discontinua

Para el caso de la centrífuga, se revisaron las propuestas de dos grandes compañías con amplia trayectoria en la industria de la producción y refinación del azúcar a nivel mundial como lo son Western States y BMA. Finalmente se selecciona a la compañía alemana BMA, ya que es la empresa líder en este sector con mas de 160 años de experiencia, además de que sus centrífugas se han utilizado con gran éxito en ingenios que abastecen de azúcar a otras embotelladoras de refrescos alrededor del mundo, cumpliendo con los parámetros de calidad requeridos en este caso.

Para este proceso se escoge una centrífuga discontinua BMA Serie E ya que posee un caudal hasta 8 % mayor si se compara con otros modelos de esta misma marca, además de que cuenta con un sistema de control a prueba de fallos lo que proporciona una mayor seguridad en la operación. Este tipo de centrífuga tiene una automatización muy moderna, lo que permite obtener un azúcar de excelente calidad, constante y controlada, además de brindar estabilidad al proceso. El proveedor garantiza poco mantenimiento del equipo y una larga vida útil.

En el cuadro 7.3, se detallan las características de la centrífuga elegida.

Cuadro 7.3 Características de la centrífuga discontinua BMA Serie E (BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, 2019).

Características	Descripción
Marca	BMA
Modelo	E1390
Cantidad máxima de azúcar crudo por batch	1 190 kg
Número de batches por hora	28
Caudal de hasta	33 Ton/h
Diámetro de la canasta	1 365 mm
Altura de la canasta	1 070 mm
Velocidad máxima admisible de la canasta	1 222 rpm
Factor de centrifugado máximo (factor g)	1 139
Velocidad de servicio aproximado	1 210 rpm
Velocidad de carga ajustable entre	100 rpm – 250 rpm
Velocidad de descarga ajustable entre	10 rpm – 80 rpm
Características de la canasta	La canasta posee orificios elípticos. Las telas poseen espacios de 6 a 9 mm de diámetro sobre la cual se colocan 2 contramallas de acero inoxidable, una con espacios de 0,5 mm de diámetro y la inferior con hendiduras tipo puente de 6 piezas y 6,5 mm de espesor.
Dimensiones de la carcasa de la canasta	Diámetro: 1 580 mm Altura con respecto al suelo: 900 mm
Motor	Motor asincrónico trifásico Marca: Siemens Modelo: 1LG4317-8 Potencia nominal: 126/146 kW Tensión: 400/460 V Frecuencia: 60/60 Hz Corriente nominal: 236 A
Variador de frecuencia	Marca: Siemens Modelo: 6SL3710-7LE32-1 Potencia nominal: 110 kW Tensión: 380/480 V Frecuencia: 47/63 Hz Corriente nominal: 210 A

Continuación Cuadro 7.3 Características de la centrífuga (BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, 2019).

Características	Descripción
Eje de la centrífuga	De una sola pieza, las partes visibles del eje con cromo duro.
Dispositivo de carga	<ul style="list-style-type: none"> - Con válvula de mariposa entre bridas DN 300 como órgano principal de alimentación con accionamiento neumático. - Chapaleta de carga con mando neumático montada sobre la tapa de la carcasa de la canasta para evitar goteo de masa cocida. - Tolva de carga con lavado de la tolva que se acciona por válvula electromagnética. - Tubuladura de conexión entre válvula de mariposa y mezclador distribuidor.
Dispositivo de lavado con agua	<ul style="list-style-type: none"> -Tubo porta-toberas de agua fijo, orientable alrededor de su eje con el fin de ajustarlo de manera óptima. - Toberas de chorro plano para realizar el lavado con agua y el lavado de las telas. - La alimentación se realiza con una válvula de bola DN 20 neumática.
Dispositivo de lavado con vapor	<ul style="list-style-type: none"> - Tubo porta-toberas de vapor fijo. - La alimentación se realiza con una válvula de bola DN 32 neumática.
Dimensiones de la centrífuga (figura 8.2)	<ul style="list-style-type: none"> - Distancia entre soportes (a): 1 750 mm - Encaje (h₁): 760 mm. - Altura por encima del suelo (h₂): 900 mm. - Altura hasta la brida del motor (h₃): 1 210 mm. - Altura total sin contar el motor: 2 870 mm.

En la figura 7.2 se puede apreciar al lado izquierdo, los orificios elípticos de la canasta de la centrífuga, y al lado derecho el bosquejo de la centrífuga E1390.

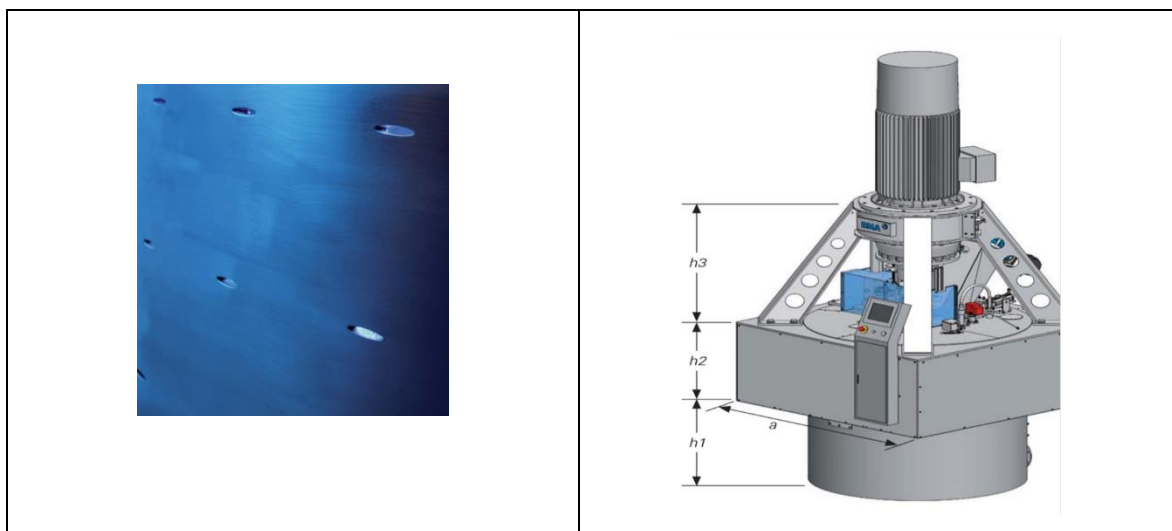


Figura 7.2 En el lado izquierdo se observan los orificios elípticos de la canasta. En el lado derecho, una representación de la centrífuga E1390 (BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG, 2019).

7.4 Columnas de intercambio iónico

Para el caso de los intercambiadores iónicos, se analizaron las características de las resinas de marcas reconocidas en el mercado como lo son Purolite, Dow Chemical y DuPont. Se decidió emplear las resinas de la marca Purolite debido a que esa empresa dedica el 100 % de sus recursos al desarrollo y producción de resinas de intercambio iónico de alto rendimiento, además de que la calidad de sus productos es reconocida a nivel mundial.

En cuanto al diseño del equipo, se decide en conjunto con el corporativo y la embotelladora, trabajar con la empresa española Seppelec, ya ésta ha estado a cargo del desarrollo de muchos proyectos en diferentes embotelladoras en todo el mundo, por lo que se tiene gran confianza en el trabajo y en los resultados que se pueden obtener.

Para este proceso, como se expuso en el capítulo 4, se utilizarán dos tipos de columnas de intercambio iónico, una para decolorar a través de resinas aniónicas y otra para desmineralizar mediante el uso de resina aniónica y resina catiónica.

En el cuadro 7.4 se muestran las características de las columnas y de las resinas.

Cuadro 7.4 Características de las columnas de intercambio iónico (The Purolite Company, 2009).

Características	Columna #1	Columna #2
Función	Decoloración	Desmineralización
Tipo de columna	Recipiente cilíndrico a presión con la parte superior cóncava.	Recipiente cilíndrico a presión con la parte superior cóncava.
Diámetro	3,0 m	3,0 m
Altura	5,0 m	5,0 m
Presión de diseño	70 psi	70 psi
Tipo de resina	Dos tipos de resina aniónica: acrílica y estirénica.	Lecho mixto: resina aniónica (base fuerte poliestirénica OH ⁻) y resina catiónica (ácido débil H ⁺).
Marca de las resinas	Purolite	Purolite
Modelo de las resinas	Resina acrílica: A860S Resina estirénica: A500SPlus	Resina aniónica: A500SPlus Resina catiónica: C115EC
Estructura del polímero de las resinas	- Resina acrílica: Poliacrílico macroporoso reticulado con divinilbenceno. - Resina estirénica: Poliestireno macroporoso reticulado con divinilbenceno,	- Resina aniónica: Poliestireno macroporoso reticulado con divinilbenceno. - Resina catiónica: polimetacrílica ácida con crosslink poroso.
Regeneración	- Frecuencia: Cada 24 horas. - Solución utilizada: salmuera alcalina obtenida de salmuera al 20 % y NaOH al 50 %. Además, se necesita agua tratada y aire comprimido. - Temperatura: 70 °C - Tiempo contacto: 60-90 minutos.	- Frecuencia: Cada 16 horas. - Solución utilizada para separar resina: salmuera al 20 % y agua tratada. - Solución para regenerar: HCL al 30 % y NaOH al 50 %. Además, se necesita agua tratada y aire comprimido.
Volumen de resina requerido	4 247 dm ³	4 247 dm ³
Densidad	Resina acrílica: 1,06 kg/dm ³ Resina estirénica: 1,12 kg/dm ³	Resina estirénica: 1,12 kg/dm ³
Peso aproximado de la resina	Resina acrílica: 2 251 kg Resina estirénica: 2 378 kg	Resina estirénica: 2 378 kg Resina catiónica: 2 251 kg
Vida útil de las resinas (aproximado)	5 años	5 años

7.5 Filtros de tierra de diatomeas y carbón activado con discos horizontales

Luego del paso del jarabe de azúcar por las columnas de intercambio iónico, es necesario eliminar el olor y el color adquirido de las resinas, para lo cual se empleará un filtro de placas o filtro de tierra de diatomeas y carbón activado con discos horizontales y descarga automática.

Estos filtros son muy apropiados para la filtración de soluciones azucaradas y soluciones concentradas utilizadas en la producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas, esto debido a que la posición de los filtros permite obtener un área superficial de contacto más amplia en comparación con otros filtros lo que contribuye a la obtención de un jarabe de mejor calidad. Además, este tipo de filtro es de fácil operación y requiere de poco mantenimiento (TCCC, 2007).

En este caso se analizaron los filtros de las marcas Termofriger y Della Toffola; se elige utilizar el filtro de la marca italiana Della Toffola tanto en el proceso de filtración, luego del clarificado, como en el proceso de deodorizado luego del proceso de decoloración y desmineralización del jarabe de azúcar, esto debido a la experiencia existente en la implementación de estos equipos en las plantas embotelladoras pertenecientes a la multinacional de bebidas.

Estos filtros son ideales para procesos donde se manejan grandes cantidades de líquido y con porcentajes bajos de sólidos suspendidos, ya que el tiempo de filtración es corto y los resultados son excelentes. Asimismo, las operaciones de vaciado y limpieza son sencillas y el mantenimiento requiere de poco tiempo.

Otras características importantes de mencionar, es que este tipo de filtros garantizan la máxima estabilidad de los paneles filtrantes, así como la posibilidad de realizar paros prolongados en el proceso con sus respectivas reanudaciones sin afectar el producto o la calidad del filtrado.

A continuación, en el cuadro 7.5 se resumen las características del filtro seleccionado, de acuerdo con el caudal requerido (6 600 L/h) y la recomendación del fabricante.

Cuadro 7.5 Características de los filtros de placas discontinuos (Della Toffola Group, 2018).

Características	Descripción
Marca	Della Toffola
Modelo	NF 20
Superficie filtrante	20 m ²
Producto	Jarabe de azúcar de 65 °Brix
Temperatura del producto	85 °C
Caudal máximo	8 000 L/h
Duración máxima	3 horas y 50 minutos por carga
Cantidad filtrada	35 000 L por carga
Presión de trabajo	7 bar
Capacidad de la cuba	1 050 L
Diámetro de la cuba	900 mm
Número de discos	48
Distancia entre discos	24 mm
Volumen de la torta	400 L
Potencia	23 24 kW
Conexiones	NW 65/50 Triclover
Bomba de alimentación	Bomba centrífuga, de construcción sanitaria.

En la figura 7.3 se puede observar un bosquejo simple del filtro de placas de tierras diatomeas y carbón activado por dentro.

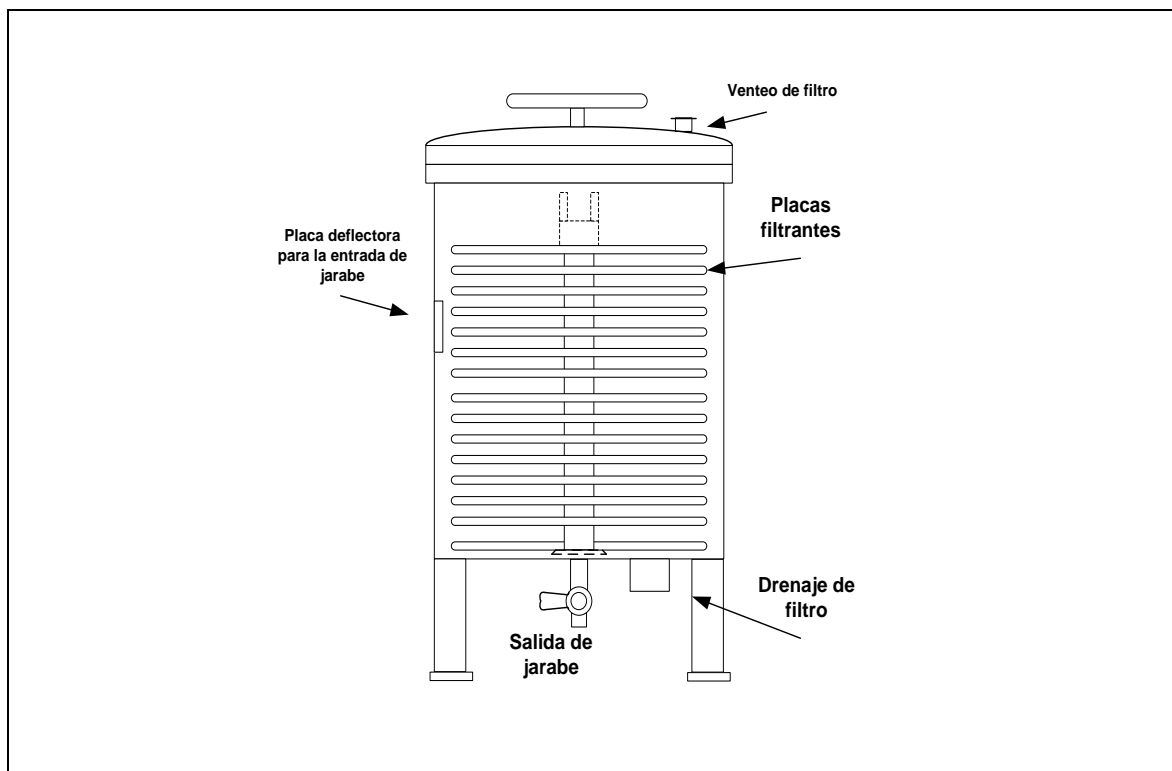


Figura 7.3 Bosquejo simple del filtro de placas (Castillo, 2007).

7.6 Filtros pulidores

Luego del paso del jarabe por la etapa de deodorizado con el filtro de placas, es necesario un proceso de pulimento para eliminar las partículas residuales que hayan quedado, ya que estas podrían generar dos efectos negativos importantes, espuma en la bebida durante el proceso de llenado y formación de sedimentos en el producto terminado.

Este proceso de pulimento puede realizarse mediante filtración utilizando diferentes medios filtrantes como lo son el papel filtro, los filtros de almohadilla junto con el filtro-ayuda, la malla de acero inoxidable junto con filtro ayuda, los filtros tipo vela y los filtros de cartucho (TCCC, 2008).

En el caso del papel filtro y los filtros de almohadilla, tienen la desventaja que deben desecharse al término de cada uso, por lo que la inversión es mayor en comparación con otros medios filtrantes. Tanto en los filtros de almohadilla como en los filtros de malla, se debe utilizar filtro ayuda, por lo que debe incurrirse en un mayor gasto en ayudas de proceso (TCCC, 2008).

Los filtros tipo vela son más propensos a la contaminación microbiológica si se compara con los de cartucho, que además se pueden sanear y pueden durar hasta un mes antes de necesitar reemplazo, por lo que es la opción seleccionada para el pulimento del azúcar líquido o jarabe simple.

Los filtros de cartucho o filtros pulidores, están hechos de polipropileno, los cuales son inertes al jarabe y están libres de asbestos y fibras de vidrio. Los cartuchos se encuentran dentro de una carcasa de acero inoxidable tipo 304 (TCCC, 2008).

El medio filtrante deberá ser capaz de eliminar partículas mayores o iguales a 5 micrómetros, por ejemplo, alguna traza de carbón activado o filtro ayuda proveniente del filtro de placas.

Estos filtros deberán ser lavados con agua tratada luego de cada ciclo de jarabe de azúcar filtrado, y serán sometidos a un proceso de saneamiento con agua caliente a 85 °C con una frecuencia diaria o de acuerdo a los resultados microbiológicos.

Se analizaron opciones de filtros de cartucho de las marcas Millipore, 3M y Pall, encontrando mayor variedad en los de la marca Pall, por lo tanto, son los que se eligen para llevar a cabo la etapa de pulido.

En el cuadro 7.6 se pueden ver las características del filtro pulidor escogido, el cual es diseñado para cumplir con los requisitos de alta resistencia mecánica, compatibilidad y alta remoción de partículas en procesos de tratamiento de bebidas.

Cuadro 7.6 Características de los filtros pulidores (Pall Corporation, 2019).

Características	Descripción
Marca	PALL
Modelo	PREcart PP II Filter Cartridges
Tamaño de partículas removidas	5 μm
Material de construcción	Polipropileno
Temperatura máxima de operación	90 °C
Presión máxima de operación	21,8 psi
Longitud nominal	40 pulgadas o 1,016 m
Material del sello del O-ring	Silicona
Adaptador	Extremo abierto con acabado en forma de aleta y 226 o-rings.
Saneamiento y esterilización	<ul style="list-style-type: none"> - Agente sanitizante: vapor - Temperatura máxima: 134 °C - Tiempo estimado de saneamiento: 30 minutos. - Número máximo de ciclos de operación antes del saneamiento: 25

En la figura 7.4 se puede apreciar una imagen del filtro de cartucho PALL, modelo PREcart PP II Filter Cartridges, elegido para realizar el proceso de pulido del jarabe simple tratado.



Figura 7.4 Filtro de cartucho PALL modelo PREcart PP II Filter Cartridges (Pall Corporation, 2019).

7.7 Lámpara Ultravioleta

La última etapa de tratamiento del jarabe simple antes de ser usado en los procesos de manufactura de bebidas, consiste en reducir la cuenta microbiológica mediante el uso de lámpara ultravioleta.

El jarabe debe exponerse a la luz de la lámpara en un rango de 250 nm a 265 nm con una dosis mínima de 50 000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ de radiación UV (TCCC, 2008).

En este caso se analizan las propuestas de la empresa Aquafine Corporation, ahora perteneciente al grupo Trojan Technologies, y las de la compañía holandesa Lenntech. Se elige la marca Aquafine puesto que es reconocida a nivel mundial como uno de los principales fabricantes de equipos ultravioleta, además de que existe una gran experiencia con el uso de estas lámparas en los procesos de desinfección del agua, el jarabe simple y el jarabe terminado en otras embotelladoras de bebidas.

En el cuadro 7.7 se pueden observar algunas características de la lámpara seleccionada de acuerdo a las necesidades de este proyecto.

Cuadro 7.7 Características de la lámpara de luz ultravioleta UV (Aquafine Corporation, 2019).

Características	Descripción
Marca	Aquafine
Modelo	LS HX Series
Aplicación	Especial para tratamiento de jarabe simple.
Función	Destruir el 99,9 % de los microorganismos patógenos.
Carcaza	Construida de acero inoxidable 316, con conexiones sanitarias.
Longitud del cable de conexión	5,0 m
Caja de control	Construida en acero inoxidable 316. Monitorea y controla la temperatura y la luz ultravioleta.
Cantidad de lámparas dentro de la carcaza	12

Continuación Cuadro 7.7 Características de la lámpara de luz ultravioleta UV (Aquafine Corporation, 2019).

Características	Descripción
Ventajas de las lámparas Aquafine colorguard HX	- Mayor rendimiento de proceso. - Mayor vida útil. - Diseño compacto.
Flujo máximo	Este modelo está diseñado para tratar flujos de hasta 150 gal/min o 567,81 L/min.

En la figura 7.5 se puede observar la lámpara de luz ultravioleta modelo LS HX Series.



Figura 7.5 Lámpara de luz UV Aquafine LS HX Series (Aquafine Corporation, 2019).

7.8 Intercambiadores de calor

Por su alta eficacia en el proceso de transferencia de calor y debido a que su área superficial es grande, para el tratamiento propuesto se utilizarán intercambiadores de calor tipo plato a contraflujo (Jaramillo, 2007). Se analizan las opciones que ofrecen marcas como la empresa portuguesa Arsopi-Thermal, la empresa austriaca Fisher y la empresa alemana API Schmidt-Bretten.

Finalmente, se elige la marca alemana API Schmidt-Bretten debido a que fue la opción donde se logró obtener mayor variedad e información sobre los equipos consultados, asimismo, es una empresa con amplia experiencia en este tipo de intercambiadores a nivel mundial, además del respaldo y acompañamiento que ofrecen durante la instalación. Todos estos factores se consideraron muy adecuados a las necesidades de la embotelladora, por lo que se convierte en la alternativa seleccionada.

A continuación, en el cuadro 7.8 se pueden observar las características del tipo de intercambiador escogido para este proceso.

Cuadro 7.8 Características de los intercambiadores de placas SIGMA M 26 API Schmidt-Bretten (API Schmidt-Bretten GmbH & Co. KG , 2018).

Características	Descripción
Marca	API Schmidt-Bretten
Modelo	Intercambiador de placas selladas SIGMA M 26
Flujo	2 000 L/h a 20 000 L/h
Área de intercambio	0,05 m ² – 1 400 m ²
Presión de operación	6 bar – 25 bar (normalmente 10 bar)
Material de construcción y otros	<ul style="list-style-type: none"> - Los platos y los marcos son de acero inoxidable AISI 304. - Tipo de selladura: elastomérica, capaz de soportar una temperatura máxima de 170 °C. - Diseño sanitario especial para realizar labores de CIP (clean in place). - Conexiones asépticas.
Diámetro nominal estándar de las boquillas	65
Distancia entre orificios A/C (ver figura 7.6)	174 mm / 980 mm
Dimensiones B/H y	400 mm / 1 480 mm y
L _{mínimo} / L _{máximo} (ver figura 7.6)	630 mm / 1 630 mm

En la figura 7.6 se puede apreciar al lado izquierdo y de forma esquemática, el diseño del tipo de intercambiador elegido para el proceso. En el diagrama del centro y en la foto del lado derecho, se puede ver el diseño externo del intercambiador.

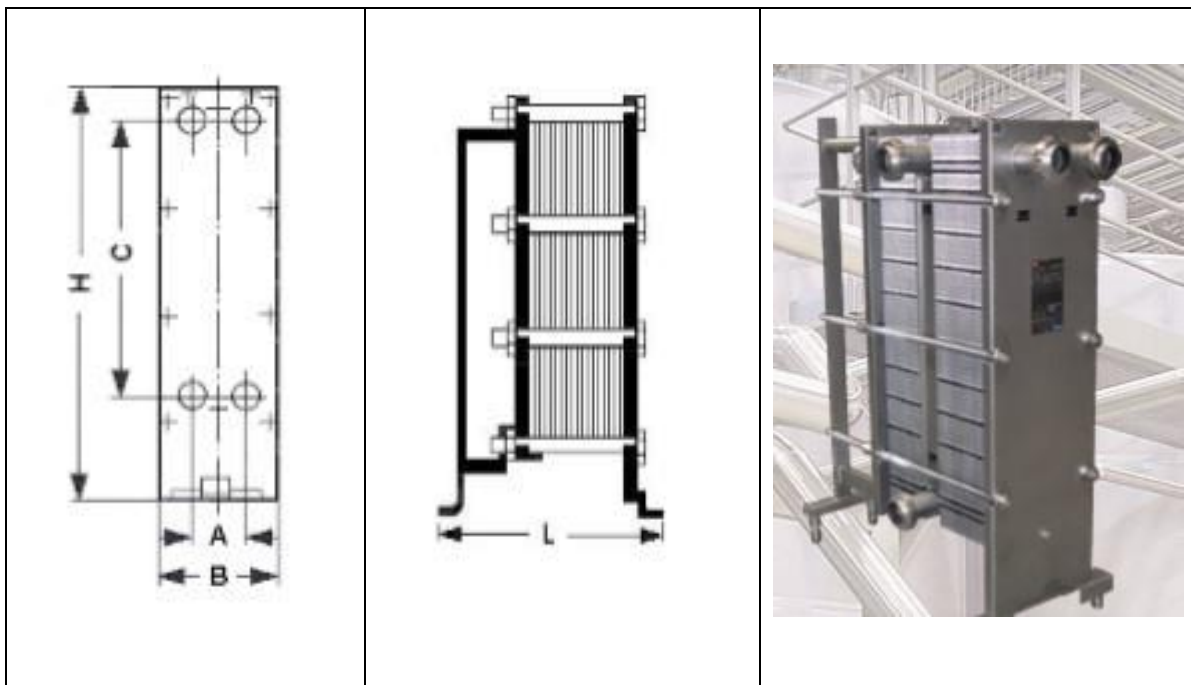


Figura 7.6 Intercambiador de placas selladas API Schmidt-Bretten tipo SIGMA M 26 (API Schmidt-Bretten GmbH & Co. KG , 2018).

7.9 Bombas de jarabe

Las bombas que deben utilizarse para el trasiego del jarabe de azúcar a lo largo del proceso de tratamiento, deben ser de fácil limpieza y permitir las labores de saneamiento. Deben ser bombas sanitarias de acero inoxidable aprobadas para uso en productos alimenticios, de acuerdo a los requerimientos de la embotelladora y del corporativo de bebidas. No deben emplearse las bombas fabricadas en bronce y las bombas que contienen impulsores de plástico.

7.10 Líneas de jarabe

Todas las líneas o tuberías para el trasiego del jarabe deben de tener una superficie suave y continua, así como un acabado sanitario en todos sus acoples y válvulas. Además, no deben de tener puntos muertos o salientes y deben tener la inclinación suficiente para asegurar un

drenado completo. Para las uniones debe utilizarse soldadura sanitaria y abrazaderas de alta presión.

Todas las líneas deben ser pasivadas antes de ser utilizadas, y deben ser capaces de aceptar un saneamiento en caliente a 85 °C (TCCC, 2008).

7.11 Automatización

Como se detalló en el capítulo 4, todo el proceso será automatizado y comandado por un sistema de control que permitiría visualizar el funcionamiento de todos los equipos en cada etapa del tratamiento, permitiendo la obtención de informes diarios sobre el desarrollo del proceso, así como de errores o avisos preventivos, limpiezas, saneamientos y labores de mantenimiento, además, permite el almacenamiento de datos y trazabilidad en todas las líneas.

Para este proceso se utilizaría un controlador lógico programable o PLC por sus siglas en inglés (Programmable Logic Controller) de marca Allen Bradley o Siemens. Todos los equipos tendrían sus respectivos dispositivos de medición en línea, por ejemplo, sensores de nivel, sensores de temperatura, conductivímetros, manómetros, medidores de brix, caudalímetros, entre otros. La información suministrada por estos equipos podrá ser visualizada en el PLC general del proceso.

CAPÍTULO 8

ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL COSTO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA

Para este tratamiento de obtención de jarabe de azúcar simple tratado a partir de azúcar crema, la multinacional de bebidas y la Planta embotelladora, parten de un presupuesto máximo definido de 6 millones de dólares, los cuales contemplan tanto los gastos directos como los gastos indirectos del proyecto.

Para poder realizar una aproximación desglosada de la inversión, se procede a calcular el costo total mediante uno de los cinco métodos de estimación del capital invertido explicados en el libro “Plant Design and Economics for Chemical Engineers” de Peters y Timmerhaus.

En el capítulo del libro indicado sobre análisis de la estimación del costo, se describen métodos con diferentes porcentajes de aproximación al costo total de la inversión realizada para construir o modificar las condiciones estructurales y operativas de una planta.

Para este caso se escogió el método C en el cual se obtiene la estimación del capital invertido con una aproximación del $\pm 20\%$ y tomando como base el costo total máximo destinado para la inversión, y no el costo de los equipos y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto como usualmente se hace, ya que, en esta ocasión, no se cuenta con ese detalle por temas de confidencialidad.

Para desarrollar este análisis se toma como base la tabla 6.9 del libro mencionado, donde se utilizan los valores correspondientes a una empresa donde se manufacturan productos líquidos.

Para cada uno de los puntos que constituyen los costos directos e indirectos, así como para el capital de trabajo, en la tabla 6.9 del libro se muestran los porcentajes definidos que sumados conforman el total invertido.

En el cuadro 8.1 se muestra el detalle de la suma de componentes en la que se distribuiría el total del capital invertido en estructura, instalación, materiales, equipos, costos indirectos y capital de trabajo.

Cuadro 8.1 Estimación del capital invertido utilizando el método C con una aproximación del $\pm 20\%$ para una empresa procesadora de productos líquidos (Peters & Timmerhaus, 2003).

Componente	Porcentaje	Costo, (\$)
Costos Directos		
Costo de los equipos y materiales	1,00	1 011 804
Instalación de los equipos y materiales	0,47	475 548
Instrumentación y controles (instalados)	0,36	364 250
Tuberías (instalados)	0,68	688 027
Sistemas eléctricos (instalados)	0,11	111 298
Infraestructura (incluyendo servicios)	0,18	182 125
Mejoras en el terreno	0,10	101 180
Facilidades en servicios (instaladas)	0,70	708 263
Total de los costos directos	3,60	3 642 496
Costos Indirectos		
Ingeniería y supervisión	0,33	333 895
Gastos en construcción	0,41	414 840
Gastos legales	0,04	40 472
Honorarios de contratistas	0,22	222 597
Contingencias	0,44	445 194
Total de los costos indirectos	1,44	1 456 998
Capital fijo invertido	5,04	5 099 494
Capital de trabajo	0,89	900 506
Total del capital invertido	5,93	6 000 000

Los valores de los diferentes puntos que se clasifican dentro del rubro de costos directos e indirectos generados por el proyecto, son estimados como porcentajes del costo total de la inversión como se ha venido mencionando.

De la suma de los costos directos y de los costos indirectos, se obtiene como resultado el costo del capital fijo invertido en el proyecto. Si a este valor se le agrega el costo por el capital de trabajo se obtiene finalmente el total del capital invertido.

Como se observa del cuadro 8.1, el costo total del capital invertido es de aproximadamente \$ 6 000 000 (alrededor de ¢ 3 636 000 000). Este capital corresponde a la inversión que la Compañía y la Planta embotelladora de bebidas deberá hacer en la tecnología propuesta para convertir el azúcar crema de baja calidad en jarabe simple tratado con la calidad requerida.

En cuanto al costo por mantenimiento y reparaciones del equipo instalado, se puede hacer una estimación aplicando un porcentaje al capital fijo invertido. La tabla 6-16 del Peters y Timmerhaus provee una guía para estimar estos costos en función de las condiciones de la producción. También se menciona que, para las industrias de procesos, el costo total para la planta en el rubro de mantenimiento se encuentra entre el 2 % y el 10 % del capital fijo invertido por año. En este caso se decide utilizar un 1,5 % debido a que los equipos que se instalarían en la Planta son nuevos y de excelente calidad, misma que ha sido comprobada por la experiencia en el uso de algunos de estos equipos en otras embotelladoras, donde el costo por mantenimiento y reparaciones ha sido sumamente bajo según confirman los expertos del corporativo de bebidas.

Cuadro 8.2 Estimación del costo por mantenimiento y reparaciones (Peters & Timmerhaus, 2003).

Componente	Porcentaje (%)	Costo (\$)
Costo de mantenimiento como porcentaje del capital fijo invertido	1,5	
Capital fijo invertido		5 099 494
Costo total por mantenimiento y reparaciones		76 492

Como se puede ver en el cuadro 8.2, el costo total anual por mantenimiento y reparaciones del equipo seleccionado sería de \$ 76 492 (alrededor de ₡ 46 354 401), considerándolo como el 1,5 % del capital fijo invertido. Este costo toma en cuenta los gastos por materiales y mano de obra.

Adicionalmente, se realizó una estimación del costo total del jarabe simple tratado utilizando como base la tabla 6-18 del Peters y Timmerhaus, la cual provee una forma de realizar una aproximación de los diversos costos involucrados en la mayoría de las plantas de manufactura.

Para poder utilizar esta tabla, se necesita calcular al menos uno de los componentes del costo para hacer relaciones que ayuden a obtener los valores de los demás rubros. En este caso se realizó el cálculo de los salarios que deberá asumir la operación por concepto de mano de obra, sabiendo que se trabajarán 3 turnos de 8 horas (24 horas en total) los 7 días de la semana. Los resultados se encuentran en el cuadro 8.3.

Cuadro 8.3 Estimación del costo de los salarios por mano de obra (Hoy Digital, 2019).

Concepto	Valor
Salario mínimo mayor (RD\$/mes)	17 610,264
Salario mínimo mayor (\$/mes)	341,47
Número de trabajadores por turno	2
Número de trabajadores al día (3 turnos)	6
Costo anual por mano de obra incluyendo aguinaldo (\$)	26 635

Para obtener el costo anual por mano de obra, se toman en cuenta los 12 meses del año más un mes adicional de salario correspondiente al aguinaldo o bonificación anual que recibe cada trabajador al finalizar el año. Con el valor del costo anual por mano de obra como base de cálculo, se procede a realizar la estimación del costo total del jarabe simple tratado mostrando los rubros que conforman dicho costo. A continuación, en el cuadro 8.4 los resultados.

Cuadro 8.4 Estimación del costo total del jarabe simple tratado para el año 5 de operación (Peters & Timmerhaus, 2003)

Componente	Factor sugerido	Factor elegido	Valor calculado, (\$)
Materias primas	10 % - 80 % del costo total del producto.	20 %	53 270
Mano de obra	10 % - 20 % del costo total del producto.	10 %	26 635
Supervisión directa	10 % - 20 % del costo por mano de obra.	10 %	2 663
Servicios públicos (agua de enfriamiento, agua de proceso, electricidad, combustible, vapor, otros).	10 % - 20 % del costo total del producto.	10 %	26 635
Mantenimiento y reparaciones	2 % - 10 % del capital fijo invertido.	1,5 %	76 492
Suministros operativos	10 % - 20 % del costo por mantenimiento y reparaciones	10 %	7 649
Cargas de laboratorio	10 % - 20 % del costo por mano de obra.	11,78	3 138
Costos Totales Variables o Directos de Producción		74 %	196 482
Impuestos	1 % - 4 % del capital fijo invertido.	0,6 %	30 597
Seguros	0,4 % - 1 % del capital fijo invertido.	0,3 %	15 298

Continuación Cuadro 8.4 Estimación del costo total del jarabe simple tratado para el año 5 de operación (Peters & Timmerhaus, 2003)

Componente	Factor sugerido	Factor elegido	Valor calculado, (\$)
Cargos Fijos (sin depreciación)			45 895
Costos Generales de la Planta	5 % - 15 % del costo total del producto.	5 %	13 317
Costo de Manufactura			255 695
Costos administrativos	2 % - 5 % del costo total del producto.	2 %	5 327
Distribución más Costos de marketing	2 % - 20 % del costo total del producto.	2 %	5 327
Gastos Generales			10 654
Costo Total del Producto (Costo de manufactura + Gastos generales)		100 %	266 349

Como se puede ver del desglose de costos mostrados en el cuadro 8.4, el costo total del producto es de \$ 266 349, tomando en consideración el volumen de jarabe simple tratado esperado para el año 5 de iniciada la operación. En la mayoría de los factores elegidos, se escoge el mínimo sugerido, de acuerdo a la recomendación de los expertos dentro del grupo embotellador y su corporativo.

Debido a que no es aplicable al proceso en estudio, se omitió el cálculo del gasto por patentes y regalías (costos directos), así como el de depreciación, renta y financiamiento (cargos fijos), además del gasto por investigación y desarrollo (gastos generales).

Con base en los resultados obtenidos en el cuadro anterior, se realizan los cálculos para obtener los costos del año 1 al año 4, como se muestra a continuación.

Cuadro 8.5 Costo total, ganancia y valor de venta estimado del jarabe simple tratado producido del año 1 al año 5.

Rubro	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Jarabe simple (L/min)	81	89	97	104	110
Jarabe simple (L/h)	4 888	5 366	5 791	6 216	6 588
Jarabe simple (L/día)	117 315	128 791	138 993	149 194	158 120
Jarabe simple (L/año)	42 819 917	47 008 822	50 732 293	54 455 764	57 713 801
Jarabe simple (m ³ /año)	42 820	47 009	50 732	54 456	57 714
Costo variable (\$)	146 234	160 540	173 256	185 972	196 482
Costo fijo (\$)	33 594	36 881	39 802	42 723	45 895
Costo total (\$)	197 614	216 946	234 130	251 313	266 349
Ganancia (\$)	296 421	325 419	351 194	376 970	399 524
Venta total (\$)	494 035	542 365	585 324	628 284	665 873

Los datos del jarabe simple producido mostrados en el cuadro 8.5, contempla el crecimiento del 16 % de la producción comentado al finalizar el capítulo 4.

Para el cálculo de la ganancia total anual, se hace la suposición de que esta representa el 60 % de las ventas totales, por lo tanto, el costo total del jarabe calculado y mostrado en el cuadro 8.4 representaría el 40 %. Según los expertos del corporativo de bebidas, estos porcentajes son valores típicos en las industrias de este tipo. A continuación, en el cuadro 8.6 se resumen algunos datos generales necesarios para el desarrollo del flujo de efectivo del proyecto, así como los costos de inversión directos tomados como punto de partida para este estudio.

Cuadro 8.6 Costos de inversión y datos generales requeridos para el desarrollo del flujo de efectivo del proyecto de elaboración de jarabe simple tratado (Velásquez, 2016).

Descripción	Unidad	Valor
Costo de las obras civiles	\$	1 790 894
Costo de los equipos	\$	1 851 602
Costo total de inversión	\$	3 642 496
Vida útil de los equipos	años	10
Producción de jarabe simple tratado al año 5	m ³ /año	57 714
Costo de venta del jarabe simple al año 5	\$	665 873
Costo variable	(\$/m ³)	3
Costo fijo	(\$/año)	45 895
Impuesto de ventas (ITBIS)	%	18
Impuesto a las transacciones (IT)	%	0,0015
Impuesto a las utilidades (IU)	%	27

Nota: ITBIS significa, Impuesto sobre las Transferencias de Bienes Industrializados.

En los cuadros 8.7 y 8.8 se muestra el flujo de efectivo inicial desde el año 1 hasta el año 10, considerando que la producción inicia con la planta completamente terminada. Para esto se toman los datos del cuadro 8.5.

Cuadro 8.7 Flujo de efectivo inicial del año 1 al año 5.

Dato \ Año	1	2	3	4	5
Producción (m ³)	42 820	47 009	50 732	54 456	57 714
Ventas (\$)	494 035	542 365	585 324	628 284	665 873
Costo variable (\$)	146 234	160 540	173 256	185 972	196 482
Costo fijo (\$)	33 594	36 881	39 802	42 723	45 895

Cuadro 8.8 Flujo de efectivo inicial del año 6 al año 10.

Dato \ Año	6	7	8	9	10
Producción (m ³)	57 714	57 714	57 714	57 714	57 714
Ventas (\$)	665 873	665 873	665 873	665 873	665 873
Costo variable (\$)	196 482	196 482	196 482	196 482	196 482
Costo fijo (\$)	45 895	45 895	45 895	45 895	45 895

Como se puede observar en el cuadro 8.8, a partir del año 6 los valores son los mismos, ya que los datos de los que se dispone para este proyecto son para 5 años, tal y como se menciona en el capítulo 4 donde se calcula la capacidad de producción requerida.

A continuación, se procede a calcular la depreciación de los activos de forma lineal, donde el valor del activo se divide entre la vida útil en años (Velásquez, 2016). Además, se muestra el dato del valor de desecho.

Cuadro 8.9 Depreciación de activos y valor de desecho (Velásquez, 2016).

Inversiones	Costo, (\$)	Vida útil, (años)	Depreciación Lineal, (\$)	Valor de desecho al año 10, (\$)
Obras civiles	1 790 894	25	71 636	1 074 536
Equipos	1 851 602	10	185 160	---
Depreciación lineal por año	---	---	256 796	---

Los datos de los costos en obras civiles y equipos, los cuales representan los activos de la empresa, se toman del cuadro 8.6. El valor de desecho se obtiene utilizando el dato del costo y la depreciación lineal de las obras civiles.

En el cuadro 8.10 se calcula el capital de trabajo para que la embotelladora inicie sus operaciones, para este caso se hace la suposición de que dicho capital solo se va a requerir para el año 1 y luego se mantendría sin variaciones por el resto de los años, por eso se pone igual a cero.

El capital de trabajo se define contablemente, como la diferencia entre el valor del activo circulante y el valor del pasivo circulante. El activo circulante se compone básicamente de tres rubros: valores e inversiones, inventarios y cuentas por cobrar, en este caso se utiliza el valor correspondiente a las ventas como flujo positivo entrante y necesario para financiar los gastos del proyecto en sus inicios. El pasivo circulante se refiere al financiamiento

parcial y a corto plazo para que la empresa inicie sus operaciones, en este caso se toma el valor que corresponde a los costos operativos como punto de partida del proceso.

Según el cuadro 9.1, el capital de trabajo representa el 15 % del total del capital invertido, por lo que se puede obtener la siguiente ecuación:

$$15 = x_1 - x_2 \quad (8.1)$$

Donde x_1 = activo circulante y x_2 = pasivo circulante.

Si la Tasa Circulante (TC) se define como el valor del activo circulante entre el valor del pasivo circulante, entonces se obtiene la siguiente ecuación:

$$TC = x_1/x_2 \quad (8.2)$$

Donde TC = Tasa Circulante, x_1 = activo circulante y x_2 = pasivo circulante (Bacca, 2013). El promedio industrial de la TC para la evaluación de proyectos es de 3 (Bacca, 2013), por lo que la ecuación 8.2 se transforma en:

$$3 = x_1/x_2 \quad (8.3)$$

Despejando x_1 de la ecuación 8.3 y sustituyéndolo en la ecuación 8.1, se obtiene la siguiente ecuación:

$$15 = 3x_2 - x_2 \quad (8.4)$$

Despejando x_2 y posteriormente x_1 , se obtienen los porcentajes referidos tanto del activo circulante como del pasivo circulante según se muestra en el cuadro 8.10.

Cuadro 8.10 Capital de trabajo para el año 1 (Bacca, 2013).

Concepto	Porcentaje, (%)	Costo total, (\$)	Costo aplicando el % definido, (\$)
Activo circulante (ventas)	23	494 035	111 158
Pasivo circulante (costos operativos)	8	179 829	13 487
Capital de trabajo			97 671

Como se mencionó anteriormente, el porcentaje obtenido del activo circulante se aplica al costo total de las ventas en el año 1, mientras que el porcentaje del pasivo circulante se aplica al total de los costos operativos en el año 1. La diferencia entre ambos valores representa el capital de trabajo.

En los cuadros 8.11 y 8.12 se muestra la cuenta de resultados donde se calculan los impuestos a las utilidades del año 1 al año 10. En este ejemplo, el impuesto a las ventas se calcula al multiplicar lo obtenido en las ventas por el porcentaje del impuesto de ventas (ITBIS) (Gobierno de la República Dominicana, 2019) mostrado en el cuadro 8.6. El impuesto a las compras se obtiene al aplicar el impuesto de ventas del 18 % a la suma de los costos variables y fijos, suponiendo que solo el 40 % de estos costos son sujetos a este impuesto.

Cuadro 8.11 Cuenta de resultados del año 1 al año 5.

CONCEPTO	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	494 035	542 365	585 324	628 284	665 873
Impuesto de ventas (18 %)	88 926	97 626	105 358	113 091	119 857
Impuesto a las compras (18 %)	12 948	14 214	15 340	16 466	17 451
IT (0,0015 %)	7,4	8,1	8,8	9,4	10,0
Ingreso Neto	418 049	458 945	495 297	531 649	563 457
Costos operativos	197 614	216 946	234 130	251 313	266 349
Costos variables	146 234	160 540	173 256	185 972	196 482
Costo fijo	33 594	36 881	39 802	42 723	45 895
Costos no operativos	256 796	256 796	256 796	256 796	256 796
Depreciación	256 796	256 796	256 796	256 796	256 796
Utilidad Bruta	-36 361	-14 797	4 372	23 540	40 312
Impuestos a utilidades (27%)	-9 817	-3 995	1 180	6 356	10 884

Cuadro 8.12 Cuenta de resultados del año 6 al año 10.

CONCEPTO	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ventas	665 873	665 873	665 873	665 873	665 873
IVA Ventas (18 %)	119 857	119 857	119 857	119 857	119 857
IVA Compras (18 %)	17 451	17 451	17 451	17 451	17 451
IT (0,0015 %)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Ingreso Neto	563 457	563 457	563 457	563 457	563 457
Costos operativos	266 349	266 349	266 349	266 349	266 349
Costos variables	196 482	196 482	196 482	196 482	196 482
Costo fijo	45 895	45 895	45 895	45 895	45 895
Costos no operativos	256 796	256 796	256 796	256 796	256 796
Depreciación	256 796	256 796	256 796	256 796	256 796
Utilidad Bruta	40 312	40 312	40 312	40 312	40 312
Impuesto a utilidades (27%)	10 884	10 884	10 884	10 884	10 884

El impuesto a las transacciones se calcula al multiplicar lo obtenido en las ventas por el porcentaje del impuesto por las transacciones (IT) (Gobierno de la República Dominicana, 2019) mostrado en el cuadro 8.6. El ingreso neto se obtiene al restar del valor total de las ventas, la diferencia entre el impuesto de ventas y el impuesto de compras, así como el impuesto de las transacciones.

Los costos operativos o totales, así como los costos variables y fijos se toman del Cuadro 8.5, y para los costos no operativos se toma el mismo valor de la depreciación, la cual se muestra en el cuadro 8.9 y de la que se había determinado que era la misma desde el año 1 hasta el año 10.

De esta forma, la utilidad bruta se obtiene al restar del ingreso neto, los costos operativos y los no operativos. El impuesto a las utilidades se obtiene al multiplicar el impuesto del 27 % (Gobierno de la República Dominicana, 2019) mencionado en el cuadro 8.6 al valor de la utilidad neta.

Como se puede apreciar en el cuadro 8.11, la utilidad bruta obtenida es negativa en el año 1 y en el año 2, es decir, no hay ganancia hasta el año 3 donde el número se vuelve positivo. Esto quiere decir que los ingresos netos no son suficientes para cubrir los costos operativos

y no operativos generados por el proceso hasta el año 3 de operación. Como se había comentado antes, del año 5 al año 10 los valores son los mismos puesto que no se tiene información para este periodo, el proyecto se diseña tomando en cuenta la capacidad máxima requerida para producir jarabe simple tratado hasta el año 5 de operación.

Finalmente, en los cuadros 8.13 y 8.14 se muestra el flujo de efectivo del proyecto de elaboración del jarabe simple tratado.

Cuadro 8.13 Flujo de efectivo del proyecto de inversión del año 1 al año 5.

Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-3 642 496					
Capital de Trabajo		-97 671				
Ingresos		418 049	458 945	495 297	531 649	563 457
Costos Operativos		-197 614	-216 946	-234 130	-251 313	-266 349
Impuesto a las utilidades		0	0	-1 180	-6 356	-10 884
Valor Desecho						
Flujo Neto	-3 642 496	122 764	241 999	259 987	273 980	286 224

Cuadro 8.14 Flujo de efectivo del proyecto de inversión del año 6 al año 10.

Año	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión					
Capital de Trabajo					97 671
Ingresos	563 457	563 457	563 457	563 457	563 457
Costos Operativos	-266 349	-266 349	-266 349	-266 349	-266 349
Impuesto a las utilidades	-10 884	-10 884	-10 884	-10 884	-10 884
Valor Desecho					1 074 536
Flujo Neto	286 224	286 224	286 224	286 224	1 458 431

El valor de la inversión total del proyecto se coloca en el año 0 antes del arranque de la Planta y se toma del Cuadro 8.6. Se pone negativo puesto que representa un egreso para la empresa.

El dato del capital de trabajo se toma en cuenta para el año 1 y para el año 10, el valor se puede apreciar en el cuadro 8.10 (Bacca, 2013).

Los valores de los ingresos, costos operativos e impuesto a las utilidades fueron tomados de los cuadros 8.11 y 8.12. En el caso del impuesto a las utilidades, se contempla a partir del año 3 que es cuando la empresa empieza a obtener utilidades. El valor de desecho al año 10 se toma del cuadro 8.9.

El flujo neto por año se obtiene al sumar el valor correspondiente a cada rubro mencionado, donde se puede ver de los cuadros 8.13 y 8.14 que el flujo neto va aumentando año a año, ya que, aunque los costos operativos y el impuesto a las utilidades es mayor conforme avanzan los años, el aumento en los ingresos lo compensa.

Con todos estos datos, se procede a obtener los indicadores financieros del proyecto, los cuáles se muestran en el cuadro 8.15.

Cuadro 8.15. Indicadores financieros del proyecto.

Concepto	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	\$ -2 324 784
Tasa de Rendimiento de Capital Propio	18 %
Tasa Interna de Retorno (TIR)	0,55%
Inversión (año 0)	\$ 3 642 496
Rentabilidad	-63,8 %
Valor Presente, Flujos Positivos	\$ 1 317 712
Valor Presente, Flujos Negativos	\$ 3 642 496
Índice de Deseabilidad	0,36

El valor actual neto (VAN) representa el valor de todos los flujos netos traídos a valor presente con la tasa de rendimiento de capital propio o tasa de descuento, la cual ha sido definida por la embotelladora y su corporativo en un 18 %. El valor negativo muestra que la inversión inicial no se recupera en 10 años.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa del proyecto donde el VAN del proyecto se hace cero, y como se puede ver en el cuadro 8.15, la tasa no llega a cero, es decir, al año 10 de iniciada la producción del jarabe simple tratado, la inversión no se recupera.

El porcentaje de rentabilidad es negativo y se consigue al dividir el valor del VAN por el valor de la inversión inicial del proyecto. El índice de deseabilidad del proyecto se logra al dividir el valor presente de los flujos positivos entre el valor presente de los flujos negativos. Este valor debería ser mayor a uno para que el proyecto sea rentable.

En general, todos los indicadores obtenidos indican que el proyecto no es financieramente viable, puesto que los ingresos percibidos no compensan los egresos y, por lo tanto, la inversión no es recuperada al año 10.

Es importante destacar que, para realizar este análisis financiero preliminar, fue necesario partir de algunos supuestos por la falta de acceso a la información, por lo que es muy necesario que la embotelladora y su corporativo realicen el estudio con los datos con los que internamente disponen.

A pesar de que el estudio financiero no es positivo, el proyecto debe realizarse debido a que el abastecimiento de azúcar refinada no está garantizado en el mediano plazo, y como se mencionó antes, tampoco se tiene la opción de importarlo. El único camino del que se dispone para mantener la producción es implementar el tratamiento del azúcar crema para convertirlo en el jarabe simple tratado del que se parte para manufacturar todas las bebidas de la embotelladora.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

Al finalizar este proyecto, se obtienen una serie de conclusiones que pueden servir de apoyo para la embotelladora, además de base para futuros estudios relacionados al tratamiento y purificación del azúcar.

- Se provee a la empresa de un marco legal que contempla la legislación nacional vigente, así como las normas técnicas corporativas e internacionales correspondientes al tema del procesamiento del azúcar.
- Se definen los parámetros de calidad más importantes a evaluar tanto en el azúcar crema como en el jarabe de azúcar tratado.
- Se define la capacidad de la planta de producción del jarabe simple tratado para un flujo de 110 L/min, basado en la proyección estimada de consumo al año 5 de producción. Este flujo contempla un 6 % de pérdidas estimadas en el proceso y un 16 % como factor de seguridad según la recomendación de los expertos ante el eventual crecimiento de la demanda de producción.
- Con el fin de seleccionar el tratamiento más adecuado para el refinamiento del azúcar, se analizan diferentes opciones de operaciones unitarias enfocadas primordialmente en la reducción del color de 2 700 UI a 35 UI, el cual representa el parámetro de mayor desviación con respecto al valor requerido.
- Se elige la siguiente secuencia de tratamiento para obtener el jarabe de azúcar requerido: mezclado y afinado, centrifugado, disolución, clarificación y flotación, filtración, decoloración y desmineralización con intercambio iónico, deodorizado y pulimento, enfriamiento, almacenamiento y automatización del proceso.

- En el caso específico de la remoción del color, se opta por un tratamiento basado en la decoloración y desmineralización con intercambio iónico seguido de filtración con carbón activado y filtro ayuda para depurar el proceso. Luego de un análisis detallado y la implementación de una herramienta de selección, se concluye que esta es la alternativa más adecuada desde el punto de vista de calidad del producto obtenido y que además brinda mayor seguridad a la operación.
- Según el balance de materia realizado, se deben realizar 4 ciclos por hora de tratamiento completo para cumplir con la demanda de producción de 5 años, es decir, cuatro ciclos de 1 668 litros de jarabe en una hora, lo que equivale a 6 588 L/h o 110 L/min.
- Se estima el costo total anual por mantenimiento y reparaciones del equipo seleccionado por un monto de \$ 76 492, considerándolo como el 1,5 % del capital fijo invertido.
- Se realizó una estimación de los costos operativos del proyecto, de esta forma, se obtiene que para una producción de 57 714 m³/año para el año 5, el costo variable es de \$ 196 482, el costo fijo es de \$ 45 895 y el costo total es de \$ 266 349, es decir, se tendría un costo de 4,6 \$/m³ de jarabe simple tratado.
- Se hace la suposición de que la ganancia total anual representa el 60 % de las ventas totales y, por lo tanto, el costo total del jarabe representaría el 40 %. De esta manera, para el año 5 la ganancia total sería de \$ 399 524 y las ventas serían de \$ 665 873.
- La cuenta de resultados del proyecto muestra que se obtiene una utilidad bruta a partir del año 3 de iniciado el proyecto. El valor obtenido es de \$ 4 372.

- Se realiza un flujo de efectivo tomando en cuenta una inversión inicial en obras civiles y equipos de \$ 3 642 496, dato que corresponde a los costos directos estimados en el cálculo de la inversión total del proyecto.
- Los indicadores financieros del proyecto muestran un Valor Actual Neto (VAN) negativo de \$ -2 324 784; una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 0,55 %; un porcentaje de rentabilidad de -63,8 % y un Índice de deseabilidad de 0,36.
- En general, todos los indicadores financieros indican que el proyecto no es económicamente viable, ya que los ingresos percibidos no compensan los egresos y, por lo tanto, la inversión no es recuperada al año 10.

9.2 Recomendaciones

- Se recomienda que la embotelladora y su corporativo realicen un análisis financiero detallado, ya que la estimación realizada para este proyecto se basó en algunas suposiciones por la falta de acceso a la información.
- Ampliar el estudio sobre el empleo del ozono como una alternativa para la remoción del color en el azúcar crema.
- Profundizar el análisis en temas de recuperación energética y reutilización de las aguas residuales generadas en los diferentes procesos de la secuencia de tratamiento propuesta para este proyecto. De esta forma, se podrían lograr importantes ahorros en electricidad y agua, así como la optimización de los tiempos de operación.
- Estimar la proyección de consumo de azúcar líquido a un mayor plazo para poder realizar el escalamiento y selección de los equipos con una mayor capacidad de producción, y así, aprovechar la vida útil de los mismos que generalmente es de 10 años. Por otro lado, esto contribuiría a efectuar un estudio financiero más detallado.

- A pesar de que el estudio financiero no es positivo, se recomienda realizar el proyecto debido a que el abastecimiento de azúcar refinada no está garantizado en el mediano plazo y tampoco se tiene la opción de importarlo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, E. L. (2010). *Experiencias de Ingenio El Ángel en el Tema de Sedimentos en Azúcar Refino*. San Salvador: Ingenio El Ángel.
2. Álvarez, R., & Calderón, N. (Setiembre de 2011). Diseño, construcción y pruebas de un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de 4 componentes, tres de ellos a granel y uno líquido. *Proyecto de graduación*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
3. Andrade, L. (30 de Setiembre de 2015). Ing. Químico. (B. B. Phillips, Entrevistador)
4. API Schmidt-Bretten GmbH & Co. KG . (2018). *Intercambiadores de calor*. Obtenido de API Schmidt-Bretten Web site: www.schmidt-bretten.es
5. Aquafine Corporation. (2019). *UV Systems for the Food and Beverage Market*. Obtenido de Aquafine Web Site: <https://www.aquafineuv.com>
6. Arsopi Thermal. (2010). *Intercambiadores de calor para bebidas*. Obtenido de Arsopi Thermal Web site: www.arsopi-thermal.pt
7. Bacca, G. (2013). *Evaluación de Proyectos*. México, D.F.: McGraw-Hill.
8. Bazán, M. A. (2010). Sistema milidosificador de polvos: diseño y construcción. *Proyecto de graduación*. México DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
9. BMA Braunschweigische Maschinenbauanstalt AG. (2019). Obtenido de BMA Web site: <https://www.bma-worldwide.com>
10. BrandZ . (2019). *BrandZ global top 100 most valuable brands*. Obtenido de BrandZ Web site: <https://www.brandz.com>
11. Castillo, B. (Octubre de 2007). Manual de proceso para la elaboración de jarabe simple. Costa Rica.
12. Cochrane, D. (2019). *Guía de acabados de acero inoxidable*. Obtenido de The International Stainless Steel Forum (ISSF): <http://www.worldstainless.org>
13. Della Toffola Group. (2018). Obtenido de Della Toffola Group Web site: <https://www.dellatoffola.es>

14. Domingo Antonio Serpa, O. R. (2013). *Novedoso sistema de mezcla de oxidantes fuertes para el tratamiento decolorante de meladura o jugos y licores de refinería, con efecto microbicida*. Obtenido de Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA): <http://www.laica.co.cr>
15. DOW Corporation. (2019). *Ion Exchange Resins for Cane Sugar Decolorization*. Obtenido de Dow Web site: <https://www.dow.com>
16. DuPont. (2019). *Ion Exchange Resins and Polymeric Adsorbents*. Obtenido de DuPont Web site: <https://www.dupont.com>
17. Fischer Maschinen- und Apparatenbau GmbH . (2010). *Intercambiadores de calor por placas*. Obtenido de Fischer Web site: <https://www.fischer-heatexchanger.com>
18. Gálvez, D. F. (2007). Proyecto de Graduación. *Evaluación Comparativa del método de sulfitación frente al empleo de peróxido de hidrógeno en el proceso de decoloración de meladura en el Ingenio Risaralda S.A.* Pereira, Colombia.
19. Gobierno de la República Dominicana. (2019). *Dirección General de Impuestos Internos (DGII)*. Obtenido de <https://dgii.gov.do>
20. Himmelblau, D. M. (1997). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. México D.F.: Prentice Hall.
21. Honig, P. (1968). *Principios de tecnología azucarera*. New York: Elsevier Publishing Company.
22. Hoy Digital. (13 de Octubre de 2019). *Inicio: Hoy Digital*. Obtenido de Hoy Digital Web site: <https://hoy.com.do/salario-minimo-mayor-seria-ahora-de-rd17610-26-por-aumento-de-14/>
23. Instituto Azucarero Dominicano, INAZUCAR. (s.f.). *Proceso de obtención de azúcar*. Obtenido de http://www.inazucar.gov.do/obtension_azucar.htm
24. Jais, P. (Agosto de 2013). *Sulfito por Ozono*. Obtenido de Sociedad de Tecnólogos Azucareros y Alcohólicos del Perú (STAAP).
25. James G. Brennan, A. S. (2012). Ion Exchange. En A. S. James G. Brennan, *Food Processing Handbook*. London: Wiley-VCH.
26. Jaramillo, O. (2007). *Intercambiadores de calor*. México D.F.: Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México.
27. L. A. Fernández, M. B. (2006). Use of Ozone in the Decolorization of Sugar Industry Liquors. *Ozone: Science and Engineering*, 261-267.

28. Larrahondo, J. E. (1995). *Calidad de la caña de azúcar*. Obtenido de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en Colombia (CENICAÑA): <http://www.cenicana.org>
29. Lenntech. (2019). *Tratamiento y purificación del agua*. Obtenido de Lenntech Web site: <https://www.lenntech.com>
30. M. Ruiz, M. S. (2013). *Flóculos en bebidas carbonatadas de azúcar blanco de caña*. Obtenido de <http://www.sugaryazucar.com>
31. M. Vaz, C., M. Stamile Soares, S., & Da Silva, J. O. (2014). *Clarificación de meladura por flotación*. Obtenido de Engenho Novo Tecnologia Ltda: <http://www.engenovo.com.br>
32. Manuel Gómez, R. P. (1980). *Method of Sugar Refining with Ozone*. Havana.
33. Mindler, A. (1948). Demineralization of Sugar Cane Juice. En A. Mindler, *Industrial and Engineering Chemistry* (págs. 1211-1215). New York.
34. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, MAG. (1991). *Biblioteca virtual del Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/tec-cana.pdf>
35. Morales, M. (21 de Octubre de 2015). Director de Calidad, Ingenio La Cabaña S.A., Colombia. (B. B. Phillips, Entrevistador)
36. Pall Corporation. (2019). *Filtration, separation and purification*. Obtenido de Pall Corporation Web site: <https://www.pall.com>
37. Patricia Prati, R. M. (2010). Study of clarification process of sugar cane juice for consumption. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 776-783.
38. Peters, M., & Timmerhaus, K. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical*. México D.F.: McGraw-Hill.
39. Quirós, T. R. (2010). *Microbiología en la industria azucarera*. Obtenido de Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA): <http://www.laica.co.cr>
40. Ramírez, M. Á. (Julio de 2008). *Servicio Holandés de Corporación al Desarrollo, SNV*. Obtenido de <http://www.snvworld.org>
41. Rivas, A. M. (2014). Proyecto de Graduación. *Viabilidad técnica para la incorporación de un tratamiento*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

42. Romero, B. C. (16 de Setiembre de 2015). MBA Ing. Industrial. (B. B. Phillips, Entrevistador)
43. Salud y Buenos Alimentos. (Setiembre de 2015). *Salud y Buenos Alimentos, SyBA*. Obtenido de <https://www.saludybuenosalimentos.es>
44. Sapag, N., & Sapag, R. (2000). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Santiago: McGraw Hill.
45. Solórzano, M. M. (1997). Tesis. *Análisis comparativo de 5 métodos de tratamiento de azúcar para su uso en la industria de refrescos*. Ciudad Guatemala, Guatemala.
46. Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa. (2001). *The chemistry of colour removal: a processing perspective*. Durban: University of Natal, Durban, South Africa.
47. Sugartech. (2016). *The Sugar Engineers*. Obtenido de <http://www.sugartech.co.za>
48. TCCC. (2007). *Tratamiento del azúcar en la planta - Carbón*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
49. TCCC. (2007). *Tratamiento del azúcar en la planta - Flotación de floc*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
50. TCCC. (2007). *Tratamiento del azúcar en la planta - Intercambio iónico*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
51. TCCC. (2008). *Elaboración de Jarabe*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
52. TCCC. (2011). *Especificaciones y monitoreo del agua embotellada*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
53. TCCC. (2014). *Especificaciones de la sacarosa granulada*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
54. TCCC. (2014). *Especificaciones de la sacarosa líquida y el jarabe simple*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
55. TCCC. (2015). *Recepción de Materiales - Edulcorantes*. Obtenido de KORE Technical: <https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>
56. TCCC. (8 de Agosto de 2018). *Sobre el sistema KO*. Obtenido de KO Journey Web site: <https://journey.coca-cola.com>

57. Termofriger. (2018). Obtenido de Termofriger Web site: <https://www.termofriger.com>
58. The Purolite Company. (2009). *Sugar Cane Refining with Ion Exchange Resins*. Obtenido de <http://www.purolite.com>
59. Velásquez, M. (2016). *Universidad para la Cooperación Internacional (UCI)*. Obtenido de <http://www.ucipfg.com> › MAP › MAPD-04 › Flujo_de_Caja_última_versión
60. Warren L. McCabe, J. C. (2001). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. North Carolina: McGraw Hill.
61. Western States Machine Company. (2019). Obtenido de Western States Web site: <http://www.westernstates.com>

APÉNDICES

A. Muestra de cálculo

A.1 Proyección del consumo de jarabe simple tratado a 65 °Brix en los próximos 5 años

Para la manufactura de bebidas, se requiere obtener un jarabe simple con 65 °Brix y una temperatura de 20 °C. La densidad bajo estas condiciones es de 1,31555 kg/L, según Método SPS-4 ICUMSA. Para obtener el valor requerido, se utiliza la siguiente relación:

$$Kg \text{ de azúcar} \times ^\circ Brix \times Densidad \text{ del azúcar} = Litros \text{ de jarabe} \quad (A.1)$$

Sustituyendo los valores de las condiciones mencionadas anteriormente en la ecuación A.1 se obtiene la ecuación A.2.

$$Kg \text{ de azúcar} \times \frac{100 \text{ Kg jarabe}}{65 \text{ Kg azúcar}} \times \frac{1 \text{ Litro jarabe}}{1,31555 \text{ Kg jarabe}} = Litros \text{ de jarabe} \quad (A.2)$$

Así, utilizando el dato del Cuadro 3.8, Columna 6, Fila 4, para obtener el valor de litros de jarabe simple:

$$124\,000 \times \frac{100 \text{ Kg jarabe}}{65 \text{ Kg azúcar}} \times \frac{(1 \text{ Litro jarabe})}{1,31555 \text{ Kg jarabe}} = 145\,011 \frac{L}{\text{día}} \quad (A.3)$$

Este valor se encuentra en el Cuadro 3.9, Columna 6, Fila 2. De igual manera se calculan los datos presentados en la fila 2.

A.2 Balances de materia

Para el balance de materia del proceso se considera la ecuación básica:

$$A = E - S + G - C \quad (\text{A.4})$$

Donde A = acumulación, E = entrada, S = salida, G = generación y C = consumo dentro del sistema (Himmelblau, 1997).

Los valores de las variables dentro del sistema no cambian en el tiempo, por consiguiente, no ocurre acumulación y no se consideran los términos de generación y consumo, por lo que la ecuación 6.1 se simplifica a (Himmelblau, 1997):

$$E = S \quad (\text{A.5})$$

Sustituyendo los valores mostrados en el Cuadro 6.2, Columna 2, Fila 2 y Fila 3, se obtiene la ecuación A.6.

$$1000 \text{ kg} + 100 \text{ kg} = 1\,100 \text{ kg} \quad (\text{A.6})$$

De esta forma se obtiene el dato del Cuadro 6.2, Columna 2, Fila 6. Todos los balances de materia presentados en el Capítulo 6 siguen este mismo procedimiento.

A.3 Balances de energía

Para el balance de energía del proceso se considera la ecuación básica:

$$\Delta E = Q + W \quad (\text{A.7})$$

Donde ΔE = la energía acumulada en el sistema, Q = transferencia neta de calor entre el sistema y su entorno y W = transferencia neta del trabajo entre el sistema y su entorno.

En este caso, W es cero porque el volumen del sistema está fijo, por lo que la ecuación A.7 se simplifica al cálculo de Q como el calor sensible, en el cual la entalpía varía en función de la temperatura y está dada por la siguiente ecuación:

$$Q = mx C_p \Delta T \quad (\text{A.8})$$

Donde m = masa dentro del sistema, C_p = capacidad calorífica y ΔT = cambio entre la temperatura de entrada y la de salida.

El primer balance inicia en el tanque A-101 donde se prepara el jarabe de alta pureza a 75 °Brix (la figura 6.1 muestra el diagrama de este proceso). En este caso, el balance de energía quedaría de la siguiente manera:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (\text{A.9})$$

$$\text{Azúcar crema} + \text{Aguas dulces} = \text{Jarabe de alta pureza a 75 °Brix} \quad (\text{A.10})$$

Un punto importante por considerar es que los valores de C_p (capacidad calorífica) utilizados para los balances de energía, toman como base un dato específico dado por los expertos del corporativo, el cual dicta que, para un jarabe de 70 °Brix, el C_p es igual a $2,66 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$, de ahí se calculan los C_p requeridos para los balances de energía desarrollados.

En este caso se utiliza la siguiente relación:

$$^{\circ}\text{Brix requeridos} \times C_{p70^{\circ}\text{Brix}} \times \frac{1}{70^{\circ}\text{Brix}} = C_p \text{ requerido} \quad (\text{A.11})$$

Sustituyendo los valores mencionados en la ecuación A.11 se obtiene la siguiente ecuación:

$$75^{\circ}\text{Brix} \times 2,66 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1} \times \frac{1}{70^{\circ}\text{Brix}} = 2,85 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1} \quad (\text{A.12})$$

Resultado que se presenta en el Cuadro 6.10, Columna 2, Fila 8.

En este caso la temperatura del azúcar crema se considera a temperatura ambiente en aproximadamente 30 °C, mientras las aguas dulces salen de la centrífuga a 55 °C. Para este balance se considera la contribución porcentual de cada corriente de entrada con respecto al total.

La ecuación utilizada sería la siguiente:

$$\frac{\text{Kg Azúcar crema}}{\text{Kg azúcar crema} + \text{kg aguas dulces}} \times 100 = \% \text{ azúcar crema entrada al tanque A101} \quad (\text{A.13})$$

Utilizando los valores del Cuadro 6.1, Columna 2, Filas 2, 3 y 4 en la ecuación anterior:

$$\frac{69,44 \text{ kg}}{69,44 \text{ kg} + (5,56 + 50,04) \text{ kg}} \times 100 = 56 \% \text{ azúcar crema} \quad (\text{A.14})$$

Con este resultado se puede concluir que el 44 % restante correspondería a las aguas dulces que entran al tanque A-101.

Por lo tanto, la temperatura de entrada se calcularía de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \text{Temperatura azúcar crema} \times 0,56 + \text{Temperatura aguas dulces} \times 0,44 = \\ & \text{Temperatura entrada Tanque A101} \end{aligned} \quad (\text{A.15})$$

Sustituyendo por las temperaturas mencionadas para cada corriente:

$$30^{\circ}\text{C} \times 0,56 + 55^{\circ}\text{C} \times 0,44 = 41^{\circ}\text{C} \quad (\text{A.16})$$

Este dato se encuentra en el Cuadro 6.10, Columna 2, Fila 2.

La temperatura se puede pasar a grados Kelvin de la siguiente manera:

$$\text{Temperatura } ^\circ\text{C} + 273,75 = \text{grados Kelvin} \quad (\text{A.17})$$

De esta forma, al utilizar el valor obtenido en la ecuación A.16 se obtiene el valor mencionado en el Cuadro 6.10, Columna 2, Fila 3.

$$41\ ^\circ\text{C} + 273,75 = 314,15\ \text{K} \quad (\text{A.18})$$

El diferencial de temperatura se obtiene al restar el valor de la temperatura de salida del Tanque A-101 al valor de la entrada a dicho tanque.

$$\Delta T = \text{Temperatura salida} - \text{Temperatura entrada} \quad (\text{A.19})$$

Utilizando los valores del Cuadro 6.10, Columna 2, Filas 3 y 5, se obtiene el dato del Cuadro 6.10, Columna 2, Fila 6.

$$348,15\ \text{K} - 314,15\ \text{K} = 34\ \text{K} \quad (\text{A.20})$$

Finalmente, el valor de energía se obtiene al sustituir los datos del Cuadro 6.10, Columna 2, Filas 6, 7 y 8 en la ecuación A.8.

$$100\ \text{kg} \times 2,85\ \text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1} \times 34\ \text{K} = 9\ 690,0\ \text{kJ} \quad (\text{A.21})$$

Este valor se encuentra en el Cuadro 6.10, Columna 2, Fila 9.

Todos los balances de energía mostrados en el capítulo 6, se calculan utilizando este procedimiento.

A.4 Cálculo del volumen de la tolva para 400 kg de azúcar crema

La fórmula para el cálculo de la densidad es la siguiente:

$$Densidad (kg/m^3) = masa (kg) / volumen (m^3) \quad (A.22)$$

Despejando la ecuación A.22, se obtiene el cálculo para obtener el volumen:

$$volumen (m^3) = masa (kg) / Densidad (kg/m^3) \quad (A.23)$$

Si la densidad del azúcar crema es de 1 587 kg/m³ y la capacidad requerida para la tolva es de 400 kg como se indica en el Cuadro 7.1, Columna 4, Fila 3, y además se requiere un 15 % adicional a la medida obtenida como porcentaje de seguridad, entonces se tendrían todos los datos para sustituir en A.23:

$$\left(400 \text{ kg} / 1\,587 \text{ kg/m}^3 \right) \times 1,15 = 0,290 \text{ m}^3 \quad (A.24)$$

De esta forma se obtendría el valor mostrado en el Cuadro 7.1, Columna 4, Fila 4.

A.5 Cálculo del diámetro del cilindro de la tolva

Para obtener los datos de la altura de la tolva, así como los del diámetro y altura del cilindro y los de altura, diámetro mayor y menor del cono, se toma como base un trabajo de graduación donde se construyó un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de 4 componentes, tres de ellos sólidos y uno líquido. Para este caso, se tomó como referencia el diseño realizado con la arena, ya que tiene una densidad de 1 600 kg/m³, similar a la del azúcar crema, cuyo valor es de 1 587 kg/m³ (Álvarez & Calderón, 2011).

De esta forma, se utiliza la ecuación A.25 para obtener el valor del diámetro del cilindro de la tolva.

$$Diám. cil tolva (m) = \frac{Diám.cil tolva prototipo (m) \times capacidad tolva az (kg)}{capacidad tolva prototipo (kg)} \quad (A.25)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior el dato del Cuadro 7.1, Columna 3, Fila 5, así como el dato del Cuadro 7.1, Columna 4, Fila 3 y el del Cuadro 7.1, Columna 3, Fila 3, se obtiene que:

$$\left(\frac{0,384 m \times 400 kg}{59 kg} \right) \times 1,15 = 2,994 m \quad (A.26)$$

A la ecuación A.26 además se le incluyo el 15 % adicional correspondiente al factor de seguridad mencionado anteriormente. De esta forma, se tiene que el valor obtenido se encuentra en el Cuadro 7.1, Columna 4, Fila 5.

El cálculo de la altura del cilindro, altura del cono, diámetro mayor y menor del cono, así como la altura total de la tolva, se obtienen siguiendo la fórmula A.25 y sustituyendo con los valores del Cuadro 7.1, Columna 3, filas de la 6 a la 10 respectivamente. En todos los casos, los datos del Cuadro 7.1, Columnas 3 y 4, Fila 3 se mantienen igual dentro de la fórmula. Los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 7.1, Columna 4, filas de la 6 a la fila 10. En todos los casos se considera el 15 % adicional como factor de seguridad.

A.6 Cálculo del diámetro y altura de los tanques de proceso

Se utilizará la fórmula del volumen de la ecuación A.27 (Warren L. McCabe, 2001), para obtener la medida del diámetro y de la altura de cada tanque.

$$V = \frac{\pi \times D_t^2 \times H}{4} \quad (\text{A.27})$$

Donde V = volumen, $\pi = 3,14$, D_t = diámetro del tanque y H = altura. Si se asume que $D_t = H$, la ecuación anterior se convierte en:

$$V = \frac{\pi \times D_t^3}{4} \quad (\text{A.28})$$

Si la fórmula anterior se despeja para obtener el diámetro, y por lo tanto la altura, se obtiene la siguiente ecuación:

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{V \times 4}{\pi}} \quad (\text{A.29})$$

Para calcular, por ejemplo, el diámetro y la altura del tanque de preparación del jarabe de alta pureza denominado A-101, se utiliza la ecuación anterior con el dato del Cuadro 7.2, Columna 5, Fila 2, y aplicando un 15 % adicional como factor de seguridad, para obtener el siguiente resultado:

$$\left(\sqrt[3]{\frac{0,200 \text{ m}^3 \times 4}{\pi}} \right) \times 1,15 = 0,729 \text{ m} \quad (\text{A.30})$$

El valor obtenido se muestra en el Cuadro 7.2, Columnas 6 y 7, Fila 2. De igual manera se obtienen los datos del diámetro y la altura para los diferentes tanques utilizados en el proceso, los cuáles se muestran en el Cuadro 7.2, Columnas 6 y 7, Filas 3, 5, 8-16, 18-20, 22, 23, 25, 26, 28 y 29.

A.7 Cálculo del costo total del producto para el año 5.

Se utiliza el valor calculado del costo anual por mano de obra para obtener el costo total del producto, asumiendo que el costo por mano de obra representa el 10 % del costo total. Para esto se utiliza el valor del Cuadro 8.3, Columna 2, Fila 6.

$$\frac{100 \% \times \$ 26\,635}{10 \%} = \$ 266\,349 \quad (\text{A.31})$$

El valor obtenido se muestra en el Cuadro 8.4, Columna 4, Fila 26. La misma metodología se sigue para los demás valores presentados en el Cuadro 8.4.

A.8 Cálculo del costo total del producto para el año 1.

Utilizando el valor del costo total del producto para el año 5 mostrado en el Cuadro 8.4, Columna 4, Fila 26; el valor del volumen de jarabe simple tratado que se espera producir en el año 5, mostrado en el Cuadro 8.5, Columna 6, Fila 6, así como el volumen que se espera producir en el año 1, valor que se muestra en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 6. Se utiliza la siguiente relación para obtener el costo total del producto para el año 1.

$$\frac{42\,820\,m^3 \times \$ 266\,349}{57\,714\,m^3} = \$ 197\,614 \quad (\text{A.32})$$

El valor obtenido se muestra en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 9.

A.9 Cálculo del costo variable del producto para el año 1.

Utilizando el valor del costo total del producto para el año 5 mostrado en el Cuadro 8.4, Columna 4, Fila 26, así como el valor del costo variable del producto para el año 5 mostrado en el Cuadro 8.4, Columna 4, Fila 10, se obtiene el porcentaje que representa el costo variable con respecto al total.

$$\frac{\$ 196\,482 \times 100 \%}{\$ 266\,349} = 74 \% \quad (\text{A.33})$$

Es decir, el 74 % del costo total del producto corresponde al costo variable, por lo tanto, se aplica este porcentaje al costo total para el año 1 mostrado en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 9, para obtener el costo variable:

$$\$ 197\,614 \times 0,74 = \$ 146\,234 \quad (\text{A.34})$$

El valor obtenido se muestra en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 7.

A.10 Cálculo del costo fijo del producto para el año 1.

Utilizando el valor del costo total del producto para el año 5 mostrado en el Cuadro 8.4, Columna 4, Fila 26, así como el valor del costo fijo del producto para el año 5 mostrado en el Cuadro 8.4, Columna 4, Fila 16, se obtiene el porcentaje que representa el costo fijo con respecto al total.

$$\frac{\$ 45\,895 \times 100 \%}{\$ 266\,349} = 17 \% \quad (\text{A.35})$$

Es decir, el 17 % del costo total del producto corresponde al costo fijo, por lo tanto, se aplica este porcentaje al costo total para el año 1 mostrado en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 9, para obtener el costo variable:

$$\$ 197\,614 \times 0,17 = \$ 33\,594 \quad (\text{A.36})$$

El valor obtenido se muestra en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 8.

A.11 Cálculo de la ganancia total del producto para el año 5.

Se hace la suposición de que el 40 % de las ventas totales anuales, deben destinarse al valor del costo del producto y el 60 % restante representaría el porcentaje de ganancia. De esta forma, utilizando el valor del costo total del producto para el año 5 mostrado en el Cuadro 8.5, Columna 6, Fila 9, se utiliza la siguiente ecuación para obtener la ganancia total del producto para el año 5.

$$\frac{\$ 266\,349 \times 60\%}{40\%} = \$ 399\,524 \quad (\text{A.37})$$

El valor obtenido se muestra en el Cuadro 8.5, Columna 6, Fila 10. La misma metodología se sigue para el resto de los valores de la ganancia presentados en el Cuadro 8.5, Columnas 2, 3, 4 y 5, Fila 10.

A.12 Valor de desecho al año 10.

El valor de desecho o valor residual, se refiere al valor final de un activo después de su depreciación y amortización, es decir, al final de su vida útil. En este caso se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Costo obras civiles} - (\text{Depreciación} \times \text{vida útil}) = \text{valor de desecho} \quad (\text{A.38})$$

Se sustituye en la ecuación A.38 el valor del costo de las obras civiles mostrado en el Cuadro 8.9, Columna 2, Fila 2. En este caso, aunque la vida útil de las obras civiles se estimó en 25 años, se utilizará el valor de 10 años mostrado en el Cuadro 8.9, Columna 3, Fila 3, debido al que el estudio financiero se realizó para este periodo de tiempo. Además, se necesita el valor de la depreciación lineal mostrado en el Cuadro 8.9, Columna 4, Fila 2. De esta forma se obtiene que:

$$\$ 1\,790\,894 - (\$ 71\,636 \times 10) = \$ 1\,074\,536 \quad (\text{A.39})$$

Este valor se puede encontrar en el Cuadro 8.9, Columna 5, Fila 2.

A.13 Cálculo del impuesto a las compras

Para el cálculo del impuesto a las compras debe considerarse el valor del costo variable mostrado en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 7 y el valor del costo fijo mostrado en el Cuadro 8.5, Columna 2, Fila 8. Además, se debe utilizar el valor del impuesto de ventas (ITBIS) mostrado en el Cuadro 8.6, Columna 3, Fila 10. Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$(\text{costo var} + \text{costo fijo}) \times \text{ITBIS} \times 40 \% = \text{Imp compras} \quad (\text{A.40})$$

Se hace la suposición de que solo el 40 % de las compras son sujetas a este impuesto y se sustituyen los valores en la ecuación anterior.

$$(\$ 146\,234 + \$ 33\,594) \times 18 \% \times 40 \% = \$ 12\,948 \quad (\text{A.41})$$

Este valor se muestra en el Cuadro 8.11, Columna 2, Fila 4. De igual forma se calculan el resto de los valores observados en el Cuadro 8.11, Columnas 2-6, Fila 4, así como los del Cuadro 8.12, Columnas 2-6, Fila 4.

A.14 Cálculo del VAN (Valor Actual Neto)

Para la obtención del VAN se utiliza la función de cálculo en EXCEL que se llama VNA, la cual devuelve el valor actual neto a partir de un flujo de fondos y de una tasa de descuento o tasa de rendimiento de capital propio. La fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$= \text{VNA} (\text{Tasa RCP}; \text{flujo neto año 1}; \text{flujo neto año 10}) + \text{Inv. inicial} \quad (\text{A.42})$$

Donde *Tasa RCP* = Tasa de rendimiento de capital propio y *Inv.inicial* es la inversión inicial que debe realizarse para empezar el proyecto.

Para utilizar la fórmula, se necesita el dato de la *Tasa RCP* mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 3. Además, se necesitan los datos de los flujos netos del año 1 al año 10 mostrados en el Cuadro 8.13, Columnas 3-7, Fila 8 y Cuadro 8.14, Columnas 2-6, Fila 8. También se necesita el dato de la Inversión inicial mostrado en el Cuadro 8.13, Columna 2, Fila 2. Se sustituyen los valores en la ecuación A.42 y se obtiene la ecuación A.43.

$$VNA (18 \% ; \$ 122\,764 ; \$ 1\,458\,431) + \$ - 3\,642\,496 = \$ - 2\,324\,784 \quad (A.43)$$

Se obtiene el valor mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 2.

A.15 Cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno)

Para la obtención del TIR se utiliza la función de cálculo en EXCEL que se llama TIR. La Tasa Interna de Retorno equivale a la tasa de interés generada por un proyecto de inversión con pagos e ingresos que se producen en períodos regulares.

La fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$= TIR (flujo\ neto\ año\ 0 : flujo\ neto\ año\ 10) ; 10 \% \quad (A.44)$$

Se sustituyen los datos de los flujos netos del año 0 al año 10 mostrados en el Cuadro 8.13, Columnas 2-7, Fila 8 y Cuadro 8.14, Columnas 2-6, Fila 8, en la ecuación anterior. El 10 % representa un valor estimado del posible valor del TIR; se puede estimar, de lo contrario, EXCEL asume un valor del 10 %.

$$0,55 \% = TIR (- 3\,642\,496 : 1\,458\,431) ; 10 \% \quad (A.45)$$

Se obtiene el valor mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 4.

A.16 Cálculo de la rentabilidad

La rentabilidad se obtiene al dividir el Valor Actual Neto (VAN) entre el valor de la Inversión inicial, tal y como se muestra en la ecuación A.46.

$$Rentabilidad = \frac{VAN}{Inversión} \quad (A.46)$$

Utilizando el valor del VAN mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 2, y el valor de la Inversión inicial mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 5, se obtiene el dato de la Rentabilidad.

$$- 63,8 \% = \left(\frac{\$ -2\,324\,784}{\$ 3\,642\,496} \right) \times 100 \quad (A.47)$$

Este valor se puede encontrar en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 7.

A.17 Cálculo del Valor Presente, Flujos Positivos

Este dato se obtiene con la misma fórmula utilizada para obtener el VAN, con la diferencia de que no se le agrega el valor de la inversión inicial, ya que este corresponde a un flujo negativo. Por lo tanto, la ecuación A.42 se transforma en la ecuación A.48.

$$= VNA (Tasa RCP; flujo neto año 1: flujo neto año 10) \quad (A.48)$$

Donde *Tasa RCP* = Tasa de rendimiento de capital propio.

Para utilizar la fórmula, se necesita el dato de la *Tasa RCP* mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 3. Además, se necesitan los datos de los flujos netos del año 1 al año 10

mostrados en el Cuadro 8.13, Columnas 3-7, Fila 8 y Cuadro 8.14, Columnas 2-6, Fila 8. Se sustituyen los valores en la ecuación A.48 y se obtiene la ecuación A.49.

$$VNA (18 \% ; \$ 122\,764 ; \$1\,458\,431) = \$ 1\,317\,712 \quad (A.49)$$

Se obtiene el valor mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 8.

A.18 Cálculo del Índice de Deseabilidad

Para el cálculo del índice de deseabilidad se utiliza la siguiente relación:

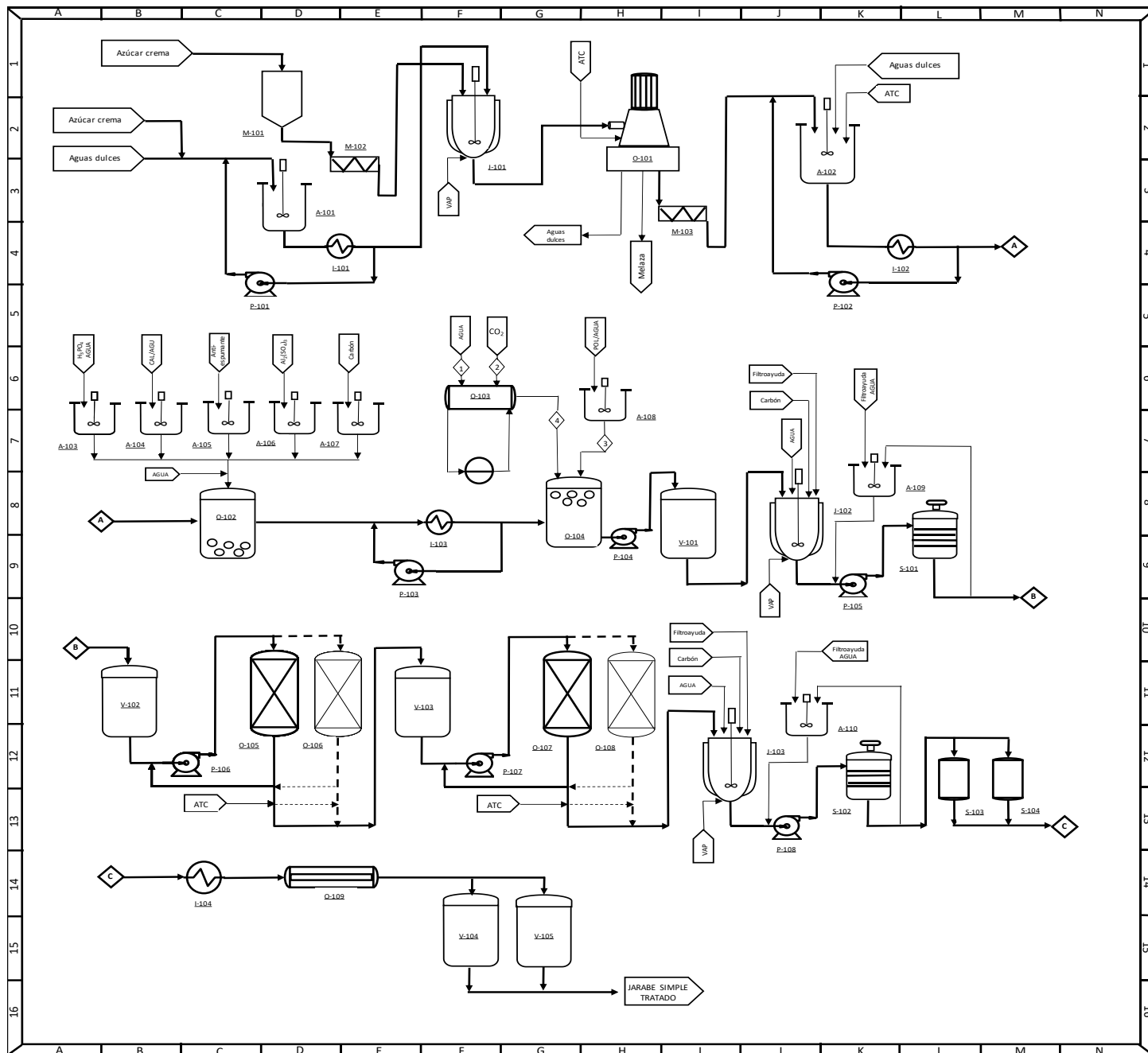
$$\text{Índice Deseabilidad} = \left(\frac{V.P. \text{ Flujos Positivos}}{V.P. \text{ Flujos Negativos}} \right) \quad (A.50)$$

Sustituyendo el valor del Valor Presente (V.P.), Flujos positivos mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 8, y el Valor Presente (V.P.), Flujos negativos mostrado en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 9 se obtiene el siguiente resultado:

$$0,36 = \left(\frac{\$ 1\,317\,712}{\$ 3\,642\,496} \right) \quad (A.51)$$

Este valor se puede encontrar en el Cuadro 8.15, Columna 2, Fila 10.

B. Diagrama de flujo del proceso



NOMENCLATURA		
IDEM	DESCRIPCIÓN	ZONA
M-101	Tolva	D1
M-102	Tornillo sinfin	E3
A-101	Tanque de Jarabe 75°Brix	D3
I-101	Intercambiador calor	D4
P-101	Bomba	C4
J-101	Tanque de Afinado	F2
O-101	Centrifuga	H2
M-103	Tornillo sinfin	I3
A-102	Tanque disolutor	J2
I-102	Intercambiador calor	K4
P-102	Bomba	K4
A-103	Tanque de ácido fosfórico	A7
A-104	Tanque de cal	B7
A-105	Tanque de antiespumante	C7
A-106	Tanque de sulfato de Al	D7
A-107	Tanque de carbón	E7
O-102	Tanque clarificador	C8
P-103	Bomba	E9
I-103	Intercambiador calor	F8
O-103	Carbonatador	F6
A-108	Tanque de polímero	H6
O-104	Tanque de flotación	G8
P-104	Bomba	H9
V-101	Tanque de balance	I8
J-102	Tanque de calentamiento	J8
P-105	Bomba	I9
A-109	Tanque de filtroayuda	K8
S-101	Filtro de placas	L8
V-102	Tanque de balance	B11
P-106	Bomba	C12
O-105	Torre intercambio iónico	D11
O-106	Torre intercambio iónico	D11
V-103	Tanque de balance	E11
P-107	Bomba	F12
O-107	Torre intercambio iónico	G11
O-108	Torre intercambio iónico	H11
J-103	Tanque de calentamiento	I12
P-108	Bomba	J13
A-110	Tanque de filtroayuda	J11
S-102	Filtro de placas	K12
S-103	Filtro pulidor	L12
S-104	Filtro pulidor	M12
I-104	Intercambiador calor	C14
O-109	Lámpara UV	D14
V-104	Tanque de almacenamiento	F15
V-105	Tanque de almacenamiento	G15
SERVICIOS		
ATC	Agua Tratada Caliente 80 °C	G1
ATC	Agua Tratada Caliente 80 °C	K1
ATC	Agua Tratada Caliente 50 °C	C13
ATC	Agua Tratada Caliente 50 °C	F13
VAP	Vapor a 80 °C	J10
VAP	Vapor a 80 °C	I13
Aprobación Comisión Revisora de Permisos de Construcción		
Línea de Producción de Jarabe Simple Tratado		
País		Ciudad
República Dominicana		Santo Domingo
Beatriz Baldares Phillips		
Contenido: Proceso de producción de jarabe de azúcar como ingrediente en la elaboración de refrescos a partir de azúcar de caña de baja calidad.		
ESCALA	FECHA	LÁMINA
-	2019	IQ-01